

Trabajo Fin de Grado

Implementación de un sensor pasivo definido
por *software* en banda de frecuencias radar

Autor

Jaime Álvarez Yuste

Directores

Dr. D. Martín Eugenio Avendaño González
Tte. D^a. Lidia Martínez Saura

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2019

Resumen

La introducción del procesamiento de señal a través de *software* en un sistema de sensores pasivos es un gran avance tecnológico de cara al futuro. Además de suponer un coste excepcionalmente inferior a los equipos de guerra electrónica disponibles actualmente, a la compañía de Guerra Electrónica de No-Telecomunicaciones (cuya misión es realizar actividades ESM (*Electronic Support Measures*) y ECM (*Electronic Counter Measures*)) le sería de especial interés contar con otra estación sensora para poder disponer de una buena base goniométrica para la interceptación de emisores. De esta forma se ha estudiado la posibilidad de implementar un sensor pasivo de bajo coste utilizando dispositivos de SDR (radio definida por *software*) y a su vez disfrutando de todas las versatilidades que nos ofrecen estos procedimientos.

Los elevados costes de adquisición, desarrollo y mantenimiento de las EB (Estación Base), y los problemas resultantes del peso y volumen de los equipos, además de la falta de flexibilidad para trabajar con diferentes bandas de frecuencia, hacen que la unidad tenga bastantes problemas con el sistema actual. Sin embargo, mediante la tecnología SDR podemos contar con un sensor con una arquitectura más simple y menos voluminosa, además de poder explorar sus funcionalidades.

Para poder lograr la implementación de este sistema es necesario que sea interoperable con el sistema GESTA (Sistema Táctico de Guerra Electrónica) del Regimiento de Guerra Electrónica 31 (REW 31), para ello se han estudiado los programas y configuraciones *software* necesarias. A su vez, para conseguir las mejores capacidades y rendimiento del sensor se han llevado a cabo estudios de los posibles dispositivos que forman el sensor, así como un análisis de su coste para garantizar la viabilidad durante todas las fases del ciclo de vida del sensor pasivo (diseño, adquisición, uso, mantenimiento y vida útil).

En última instancia, la implementación de este sensor pasivo y su arquitectura pueden ser de interés a la hora de futuras adquisiciones, tanto para el subsistema de Guerra Electrónica de No-Telecomunicaciones, como para Telecomunicaciones, incluyéndolo en el plan de transición de GESTA hacia un nuevo sistema. De esta manera se obtiene un mayor número de estaciones sensoras y a su vez la especialización en *software* del personal.

Abstract

The introduction of the signal processing through software in a passive sensor system is a great technological advance for the future. Besides, assuming an exceptionally lower cost compared to the currently available electronic warfare equipment, having another sensor station to be able to have a good goniometric base for the electronic warfare section of Non-Telecommunications (their mission is to carry out ESM (Electronic Support Measures) activities and ECM (Electronic Counter Measures) activities) would have interest to have another sensor station to be able to have a good goniometric base for the interception of emitters. Therefore, the possibility of implementing a low-cost passive sensor using SDR devices (software-defined radio) and, at the same time, enjoying all the versatility that these procedures can offer, has been studied.

The costs of acquisition, development and maintenance of the EB (Base Station), and the problems resulting from the weight and volume of the equipment, along with the lack of flexibility to work with other frequencies, pose a lot of problems for the unit with this system. However, with SDR technology we can provide a sensor with a simpler and less bulky architecture, and we can explore its other functionalities.

In order to achieve the implementation of this system, it is necessary for it to be interoperable with the GESTA (Electronic Warfare Tactical System) system of the Electronic Warfare Regiment 31 (REW31), for which the necessary software programs and configurations have been studied. In turn, to obtain the best capabilities and performance of the sensor, studies have been carried out to find the possible devices that make up the sensor. As well as an investigation of the software adaptations to make the information useful for the actual system, and a study of the knowledge that operators have to have in this sensor.

Moreover, in order to guarantee the future use of this sensor, an analysis of its cost to control the viability during all phases of the passive sensor life cycle (design, acquisition, use, maintenance and useful life) has been done. Also, the study of the risks of this project have been made in order to know the difficulties that can appear and how to solve these problems or avoid them from arising.

Ultimately, the implementation of this passive sensor and its architecture may be of interest when it comes to future acquisitions, both for the Non-Telecommunications Electronic Warfare subsystem, and for Telecommunications, included in the GESTA transition plan towards a new system. Thus, obtaining a greater number of sensor stations and specialization in staff software.

To sum up, the project concludes reaching all the proposed objectives, indicating some possible future lines to improve this system and the new activities that these types of units could do.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a ambos tutores de este trabajo: el profesor D. Martín Eugenio Avendaño González y la teniente D^a. Lidia Martínez Saura, su total disposición y gran ayuda. Sin lo que no hubiera sido posible la realización de este proyecto. A su vez, agradecer a todos los profesores del Centro Universitario de la Defensa, que han realizado una gran labor durante estos cuatro años contribuyendo a mi formación.

Agradecer en segundo lugar al personal del Regimiento de Guerra Electrónica 31, por su dedicación y apoyo durante las prácticas externas.

Por último, agradecer a mi familia y compañeros, su apoyo me ha ayudado a progresar como persona y profesional. Los valores que me han enseñado me han convertido en la persona que soy hoy.

Índice

Índice	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiii
Lista de Acrónimos.....	xv
1 Introducción.....	1
1.1 Motivación del proyecto.	1
1.2 Objetivos y alcance del proyecto.	2
1.3 Ámbito de aplicación.	3
1.4 Planificación.	3
1.5 Estructura de la memoria.	4
2 Antecedentes.	5
2.1 Sistema GESTA.	5
2.2 Radio Definida por <i>Software</i> (SDR).	7
2.3 Partes que componen el sensor pasivo SDR	8
3 Análisis del sistema actual.	11
3.1 Funcionamiento y propósito de la estación.....	11
3.2 Problemática del sistema.....	12
3.3 Solución con un sensor pasivo SDR.	13
4 Sensor pasivo definido por <i>software</i>.	14
4.1 <i>Hardware</i> del sistema.	14
4.1.1 Análisis de equipos que tratan la señal analógica.	15
4.1.1.1 Estudio de alternativas del subsistema de antena.	15
4.1.1.2 Frontal de radiofrecuencia.	16
4.1.2 Características del SDR utilizado.....	18
4.1.3 <i>Hardware</i> necesario para el sensor.	19
4.1.4 Vehículo y adaptaciones utilizadas.	20
4.2 Arquitectura <i>software</i>	21
4.2.1 Almacenamiento de datos.	22
4.2.2 Subsistema pasarela.....	22

4.2.3	Funcionamiento.....	23
4.3	Plan de sostenibilidad.....	24
4.3.1	Ciclo de vida.....	24
4.3.2	Mantenimiento y reparaciones.....	25
4.3.3	Uso y especialización.....	25
4.4	Análisis de costes.....	25
4.4.1	Costes de material.....	25
4.4.2	Costes de personal.....	26
4.5	Análisis de riesgos.....	26
5	Conclusiones del proyecto.....	29
5.1	Líneas futuras de trabajo.....	29
6	Referencias.....	30
	Anexo A: Planificación del Proyecto.....	33
A.1.	Project Charter.....	33
A.2.	Planificación del proyecto.....	34
A.3.	Diagrama de Gantt.....	35
	Anexo B: Pruebas con el programa SDRSharp para procesar y analizar la señal.....	36
	Anexo C: EB y su distribución de equipos.....	37
C.1.	Fotografía de la EB.....	37
C.2.	Distribución del material físico interno.....	37
C.3.	Conexiones lógicas entre los materiales de la EB.....	38
	Anexo D: Especificaciones técnicas del dispositivo SDR.....	39
	Anexo E: Atributos de la base de datos de GESTA para los campos interceptaciones y emisores.....	40
	Anexo F: Análisis DAFO sobre la especialización en <i>software</i>.....	42
	Anexo G: Porcentaje invertido en equipos.....	43
	Anexo H: Análisis de Riesgos.....	44

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de conexiones GESTA.	6
Figura 2 Partes funcionales de un receptor SDR.	8
Figura 3 Arquitectura básica de un sensor SDR.	9
Figura 4 Imagen procedente del oscilador de frecuencia.	9
Figura 5 Filtro de rechazo de imagen.	9
Figura 6 Frecuencia obtenida tras el filtrado.	9
Figura 7 Esquema del despliegue de los equipos de la EB.	11
Figura 8 Relaciones y conexiones del sistema sensor pasivo definido por <i>software</i>	14
Figura 9 Intercepción de señales y captación de sus parámetros mediante un subsistema de dos antenas.	15
Figura 10 RFM-1802RF high-performance tuner.	18
Figura 11 Módulo de tratamiento de señal.	18
Figura 12 Sensor pasivo desplegado.	21
Figura 13 Lateral del vehículo ligero Santana Anibal.	21
Figura 14 Interior del vehículo ligero Santana Anibal.	21
Figura 15 La pasarela hipotética proporcionada para Oracle.	23
Figura 16 Localización goniométrica de un emisor mediante el sistema GESTA con el sensor pasivo implementado por <i>software</i>	24
Figura 17 Diagrama de Gantt de la elaboración del proyecto.	35
Figura 18 Programa SDRsharp para procesar y analizar la señal.	36
Figura 19 Programa SDRSharp para la intercepción de una señal en banda radar.	36
Figura 20 Programa SDRSharp para la detección de una portadora de señal.	36
Figura 21 Imagen de la EB.	37
Figura 22 Distribución de equipos internos de la EB.	37
Figura 23 Conexionado lógico de los elementos de la EB.	38
Figura 24 Especificaciones técnicas del sistema modular del SDR.	39
Figura 25 Coste ponderado por tipo de material.	43

Índice de tablas

Tabla 1 Listado de actividades.	3
Tabla 2 Niveles de comunicación en la radio convencional y en la SDR.	7
Tabla 3 Listado de material de la EB.	11
Tabla 4 Matriz de decisión del subsistema antena.	16
Tabla 5 Listado del material necesario para el sensor pasivo.....	19
Tabla 6 Potencia de utilización del sensor pasivo.	20
Tabla 7 Presupuestos del sistema sensor pasivo.....	26
Tabla 8 Clasificación de riesgos.....	28
Tabla 9 Matriz de riesgos.	28
Tabla 10 Project Charter.....	33
Tabla 11 Estructura de Desglose de trabajo.	34
Tabla 12 Tabla de interceptaciones de la base de datos de GESTA para no comunicaciones.	40
Tabla 13 Tabla de emisores de la base de datos de GESTA para no comunicaciones...	41
Tabla 14 Análisis DAFO sobre la especialización de los operarios.....	42
Tabla 15 Análisis de Riesgos.	44

Lista de Acrónimos

<u>Acrónimo</u>	<u>Significado</u>
AALOG	Agrupación de apoyo logístico
AOR	Area Of Responsibility o Área de responsabilidad
A/D o ADC	Conversión analógico digital
BEW I/31	Batallón de Guerra Electrónica I/31
CCEEW	Centro de control y evaluación de Guerra Electrónica
Cía. No-TLC	Compañía de no telecomunicaciones
CINT	Centro de Intercepción
COP	Common Operational Picture
CUD	Centro Universitario de la Defensa
dB	Decibelios
dBi	Ganancia de antena en dB por encima de un radiador isotrópico
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
EB	Estación Básica
EC	Estación Central
ECM	Counter Electronic Measures o Contramedidas Electromagnéticas
EDC	Subsistema de evaluación dirección y control
EDT	Estructura de desglose de trabajo
ESM	Electronic Support Measures o Medidas de apoyo Electromagnéticas
EP	Estación Perturbadora
ET	Ejército de Tierra
EW	Electronic Warfare o Guerra Electrónica
FAS	Fuerzas Armadas
FEC	Forward Error Correction o Corrección de Errores hacia Adelante
FPGA	Field Programable Gate Array o Matriz programable de puertas lógicas
GHz	Gigahercios
GEP	Grupo electrógeno
GESTA	Sistema Táctico de Guerra Electrónica
GU	Gran Unidad
IF	Intermediate Frequency o Frecuencia Intermedia
Kva	Kilovoltio amperio
LNA	Low Noise Amplifier o Amplificador de bajo ruido
MADOC	Mando de Adiestramiento y Doctrina
MHz	Megahercios
MIPS	Millions of instructions per second o Millones de instrucciones por segundo
OBE	Orden de Batalla Electrónico
PE	Sistema de tratamiento
PRI	Periodo de repetición interpulso
REW 31	Regimiento de Guerra Electrónica 31

<i>RF</i>	<i>Radiofrecuencia</i>
<i>RRFE</i>	<i>Frontal de Radiofrecuencia</i>
<i>SCA</i>	<i>Arquitectura de comunicaciones software</i>
<i>SDR</i>	<i>Software definated Radio o Radio Definida por Software</i>
<i>SIGINT</i>	<i>Signals Inteligence o Inteligencia de señales</i>
<i>SIMACET</i>	<i>Sistema para el mando y control del ET</i>
<i>SNR</i>	<i>Signal Noise to Noise Ratio o Relación señal a ruido</i>
<i>ST</i>	<i>Subsistema de Telecomunicaciones</i>
<i>SNT</i>	<i>Subsistema de No Telecomunicaciones</i>
<i>TCP/IP</i>	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol o Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet</i>
<i>TDT</i>	<i>Televisión Digital Terrestre</i>
<i>TFG</i>	<i>Trabajo Fin de Grado</i>
<i>TN</i>	<i>Territorio Nacional</i>
<i>UHF</i>	<i>Ultra high frecuency</i>
<i>VHF</i>	<i>Very high frecuency</i>
<i>W</i>	<i>Vatio</i>
<i>ZO</i>	<i>Zona de Operaciones</i>

1 Introducción.

La siguiente memoria presenta los resultados del Trabajo de Fin de Grado (TFG) correspondiente al grado de Ingeniería de Organización Industrial, impartido en el Centro Universitario de la Defensa (CUD) en Zaragoza. Dicho proyecto ha sido realizado en la compañía de No Telecomunicaciones (Cía No-TLC) del Batallón de Guerra Electrónica I/31 (BEW I/31), situado en El Pardo, Madrid, y presenta un estudio de la implementación de un sensor pasivo vía *software* en el sistema con el que opera actualmente la unidad.

El BEW I/31, mediante el Sistema Táctico de Guerra Electrónica (GESTA¹) es responsable de llevar a cabo acciones ESM y ECM, dentro del ámbito del ET (Ejército de Tierra), como apoyo a Grandes Unidades (GU), y como complemento a los demás medios de obtención de inteligencia, dentro del ámbito SIGINT (*signals intelligence*). Es esencial que posea una tecnología capaz de adaptarse a la amenaza para la que está dispuesto y que sus sistemas tengan la fiabilidad y precisión para dotar al resto de las Fuerzas Armadas (FAS) de superioridad en su ámbito del espectro electromagnético.

El sensor diseñado para este proyecto, está conformado por dos dispositivos de antena e implementa el procesamiento de señal a través de *software*, mediante un dispositivo SDR y los demás programas de tratamiento y procesamiento de la señal, lo cual aportará ventajas y nuevas posibilidades desarrolladas a lo largo del presente documento, además de un atisbo hacia el futuro de esta tecnología.

1.1 Motivación del proyecto.

Las acciones ESM incluyen la interceptación y localización de emisores a través de sus señales electromagnéticas. El principal problema a la hora de desarrollar estas acciones es la precisión en la localización de los emisores, para lo que es necesario contar con una base goniométrica adecuada. Esta base se obtiene del despliegue de las estaciones sensoras de forma óptima sobre el terreno para cubrir un Área De Responsabilidad (AOR). Contar con suficientes sensoras, al menos tres, para obtener una localización precisa, es complicado por el elevado coste de los equipos, actualmente solo se dispone de dos de estas estaciones en el Subsistema de No-TLC. La implementación de una sensora utilizando SDR permite obtener un mayor número de estaciones, por tanto, marcaciones más precisas reduciendo los costes. Este sensor envía los datos a la Estación Central (EC), al igual que las otras estaciones del sistema GESTA, con las cuales es interoperable.

¹ Sistema táctico de guerra electrónica para señales de comunicación y señales de no telecomunicación con capacidades ECM y ESM.

Las Estaciones Básicas con las que cuenta actualmente la CIA No-TLC consta de equipos considerablemente voluminosos, caros y antiguos que comienzan a dar fallos. Se pretende reducir estos problemas de mantenimiento y rendimiento de las estaciones a través de la implementación de una nueva estación con procesado *software* de las señales interceptadas.

Ya se han expuesto algunos de los motivos para la elección de este tipo de sensores para complementar el subsistema Gesta No-TLC. Sin embargo, a continuación, se exponen los más importantes. Por un lado, se consigue un equipo menos costoso y menos voluminoso, por lo que será más fácil encontrar un vehículo para su instalación, así como la adquisición de estos equipos. Además, por otro lado, se estaría invirtiendo en una tecnología innovadora como es el SDR, que aporta muchas herramientas útiles en este ámbito. La radio definida por *software* nos permite analizar la señal y tratarla desde el propio ordenador, sin demás componentes externos, además de su versatilidad para poder tratar varias bandas del espectro electromagnético solo cambiando los parámetros del programa de análisis a otras bandas de emisión.

1.2 Objetivos y alcance del proyecto.

El objetivo principal del presente proyecto es desarrollar el sensor pasivo, adaptando sus características técnicas a los requerimientos del Sistema de Guerra Electrónica. En un estudio de las capacidades que es necesario extraer de este sensor, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Que trabaje en banda de frecuencias radar del orden de Gigahercios (GHz), utilizando un *software* de procesado de señal con buenas capacidades.
- Que su coste no sea muy elevado.
- Que el sensor sea compatible con el sistema GESTA, teniendo en cuenta los protocolos de datos, base de datos, etc. Esta acción es un punto crítico del proyecto, ya que no se podría integrar de forma autónoma.

Logrando los objetivos se consigue el propósito inicial de este proyecto. Se adjunta en el Anexo A, apartado A.1, los objetivos y descripción inicial del proyecto, mediante la realización de un Project Charter. Por otra parte, al margen del ya definido objetivo del presente TFG, para adoptar las mismas funcionalidades que los equipos actuales sería necesario llevar a cabo múltiples actividades no implementadas en este TFG. Por lo tanto, se establecen que el alcance sea definido por los siguientes límites:

- No se plantea implementar el canal vía radio, satélite, o coaxial para conectar con la Estación Central (EC). Aunque es bastante sencillo introducir un router, no se puede cambiar el *software* de GESTA para interpretar este nuevo direccionamiento IP, ya que es propiedad de INDRA Sistemas.
- No se plantea la securización o encriptado de la información que se quiere transmitir también a la estación central.

- No se plantea hacer cambios en el *software* de GESTA para dar de alta la nueva estación, puesto que, al tratarse de *software* propietario, estas acciones son realizadas únicamente por la empresa.

1.3 Ámbito de aplicación.

El REW 31 es la única unidad del ET con capacidad para realizar acciones ESM y ECM a GU, y la única que utiliza GESTA. Por lo tanto, solo puede ser utilizado por esta unidad especializada. Aun así, este puede actuar en ejercicios de maniobras u operaciones conjuntas con otras unidades o países, lo que hace que sea una herramienta flexible y versátil para las acciones de Inteligencia.

En función del subsistema de antena que se utilice podemos analizar más bandas de frecuencia de exploración, según la banda del espectro que sea necesaria, ya sea no solo para radares, sino que también para las bandas de telefonía, satélite, radio, etc. analizando otros parámetros de interés.

1.4 Planificación.

Este proyecto se desarrolla entre el 2 de septiembre y el 3 de noviembre de 2019 (62 días) y se ha dividido en 8 tareas que engloban actividades como podemos ver a continuación.

ID	Nombre tarea	ID	Nombre tarea
1	Project Kick-off	5	Adquisición de los equipos y programación del sistema
2	Propuesta de proyecto	5.1	Comparación de posibles software y compatibilidad
3	Estudio de Software y equipos requeridos	5.2	Análisis matemático de tratamiento de la señal
3.1	Busqueda de información sobre sistemas y carencias actuales	5.3	Programar el sistema para compatibilidad con GESTA
3.2	Busqueda de información sobre SDR y funcionamiento	5.4	Prueba de funcionamiento y recepción
3.3	Busqueda de información sobre el subsistema GESTA	5.5	Corrección de posibles fallos y errores
3.4	Busqueda de información sobre antenas y posibles problemas	6	Análisis de riesgos
3.5	Busqueda de información sobre equipos que componen el subsistema antena	6.1	Identificación de riesgos
3.6	Análisis de posibles equipos a utilizar	6.2	Análisis de costes de los riesgos previstos
3.7	Estudio del estado del arte de SDR	6.3	Desarrollo de planes de contingencia
4	Comparativa de diferentes equipos con los actuales	7	Lineas de acción futura
4.1	Recopilación de datos técnicos de GESTA	7.1	Desarrollo de un plan de revisión
4.2	Análisis de las posibilidades de SDR y software	7.2	Definir acción para la mejorar el rendimiento manteniendo costes
4.3	Comparativa y elección de equipos Hardware	8	Conclusiones del proyecto

Tabla 1 Listado de actividades.

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo A, apartado A.2 se muestra una EDT (Estructura de desglose de trabajo) con las actividades del proyecto de forma más detallada y a su vez un Diagrama de Gantt (apartado A.3) para ver de forma más detallada la duración y secuencia de estas.

1.5 Estructura de la memoria.

La siguiente memoria se ha estructurado en cinco capítulos más anexos con los que se pretenden cumplir los objetivos previamente mencionados.

El primer capítulo, en el cual nos encontramos, pretende introducir al lector en el contexto de esta memoria y prepararle para los siguientes. Se declaran los objetivos y alcance del proyecto, así como la planificación para la realización del mismo.

En el siguiente capítulo se exponen conceptos, actividades y procedimientos de Guerra Electrónica y nociones de SDR, de forma que sean comprensibles para el lector, ya que son de vital importancia a la hora de comprender el alcance del proyecto.

En el tercer capítulo, como su nombre indica, se llevará a cabo un análisis de la EB del sistema actual GESTA, con sus capacidades y material, sus carencias y lo que aportará el nuevo sensor pasivo definido por *software*.

A continuación, en el cuarto capítulo se lleva a cabo el desarrollo del proyecto. Hablando de la arquitectura, diseño y partes que componen el sensor pasivo, con el plan de adquisición, y haciendo hincapié en su funcionamiento. Además de explicar el método en el que se ha trabajado para implementar los programas y configuraciones *software* para la interoperabilidad y posterior control del sistema.

Finalmente, a modo de cierre se proporciona una serie de conclusiones sobre la realización del proyecto y un punto de vista sobre la evolución de este sensor definido por *software* como nuevo medio para la realización de actividades ESM dentro de las FAS.

2 Antecedentes.

Desde el año 2000 el sistema de EW GESTA fue diseñado y posteriormente utilizado por el ET. Actualmente, finalizando el ciclo de vida del sistema, se encuentra en una etapa de transición y se necesitan sistemas que complementen su funcionamiento por los fallos que sufre, como un sensor menos costoso de adquirir.

2.1 Sistema GESTA.

El sistema GESTA es el Sistema Táctico de Guerra electrónica del ET, está pensado y diseñado para apoyo a GU tanto en Zona de Operaciones (ZO) como para territorio nacional (TN). El sistema fue desarrollado por la empresa INDRA sistemas como un proyecto de I+D y fue establecido como un programa conjunto de EW (Guerra Electrónica) en el año 2001 y operativo en el ET desde 2008, aunque hasta 2015 no se dotó la EP (Estación Perturbadora) [1].

Este sistema permite el mando y control de las estaciones y es de gran utilidad para el desempeño de la misión asignada a la GU. Las funciones principales del sistema son las siguientes [2]:

- Levantamiento de Orden de Batalla Electrónico (OBE)². En la zona de interés (AOI/AOR).
- Registro y obtención de la información de las emisiones de la zona asignada.
- Localización, escucha o perturbación de las emisiones detectadas.
- Transmisión de la información obtenida para complementar la COP³ (Common Operational Picture) proporcionada en SIMACET (Sistema para el mando y control el ET).

A su vez, para llevar a cabo estos cometidos, el sistema GESTA se subdivide y organiza en los siguientes subsistemas:

- Subsistema de EW de telecomunicaciones (ST), que trabaja en la banda de frecuencias de comunicaciones.
- Subsistema de EW de no telecomunicaciones (SNT), que trabaja en la banda de frecuencias radar.
- Subsistema de mando y control de los subsistemas anteriores. Con la estación EDC (Estación de Dirección y Control). Además, se suele incorporar a la EDC un equipo o subsistema de análisis y apoyo para la detección, localización y

² El OBE es el informe de los emisores, lugares de emisión y frecuencias de interés para la maniobra. Suele representar datos de los enemigos ya son los propios de ser conocidos.

³ La COP es el informe operacional que revela las posiciones, indicativos e información de las fuerzas propias y las enemigas.

escucha de las señales (CCEEW⁴ (Centro de Control y Evaluación de Guerra Electrónica)).

Con estos subsistemas, los operadores son capaces de llevar a cabo acciones ESM y ECM de forma autónoma. Estas acciones consisten en la interceptación de señales para su posterior análisis, localización y seguimiento o escucha, o para perturbar una banda de frecuencias del espectro electromagnético. Cada subsistema cuenta con EP para perturbar el espectro electromagnético, y con EB para interceptar emisiones. Antes de transferir la información a la EDC, estas estaciones en ambos sistemas son controladas remotamente por las EC, que después transfieren a la EDC los emisores que han validado con sus respectivos informes [3].

Posteriormente el supervisor del subsistema, a través de la orden de perturbación o informes GESTA, indica si realizan seguimiento o perturbación de un objetivo desde la EC. En la siguiente Figura 1 se presenta un ejemplo de despliegue del sistema completo.

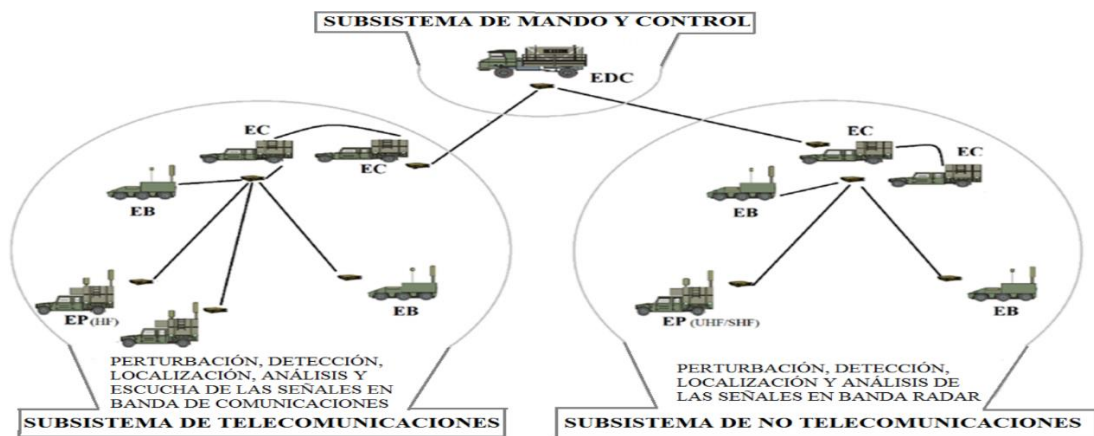


Figura 1 Esquema de conexiones GESTA.
Fuente: Elaboración propia a partir de [3] y [4].

En la figura también se muestran las conexiones de todas las estaciones, simplificado el medio de transmisión de los CINT (Centro de Interceptación)⁵ como la radio PR4G.

El presente TFG se va a centrar en la EB, cuyo funcionamiento consiste en la interceptación de estas señales para su posterior análisis por la EC, o análisis exhaustivo en el CCEEW. El diseño de este sensor pasivo se centra en aportar funcionalidades únicamente al subsistema de EW No-TLC, en la banda de frecuencias radar. Para esta banda, los sensores pasivos de la estación se encargan de recoger la información de estas

⁴ CCEEW es el puesto de mando y control de guerra electrónica, anexo en localización a la EDC.

⁵ El CINT es la estación o estaciones que conforman un puesto de recepción, perturbación y/o central, estando en el mismo emplazamiento y pudiendo estar conectadas mediante cableado.

emisiones, guardando en los servidores un registro de las interceptaciones [5]. Nuestro sensor pasivo por *software* tiene que dotar al REW 31 de otra herramienta más para la realización de actividades ESM, con funcionalidades reducidas.

2.2 Radio Definida por *Software* (SDR).

Una radio definida por *software* o SDR consiste en un dispositivo final (ordenador, servidor, raspberry, etc.) conectado a un instrumento electrónico, generalmente simple, que permite el acceso al espectro electromagnético. En la cual, mediante un cambio de programa o *plug-in*⁶ se permite cambiar el tipo de receptor que se está utilizando, por ejemplo; radio FM, teléfonos inalámbricos, Televisión Digital Terrestre (TDT), etc.

En definitiva, SDR consiste en un sistema de recepción/emisión en el que la mayor parte de las funciones que lo definen (banda de recepción, tipo de modulación, etc.) se implementan mediante *software* [6]. La mayor parte de las funciones se realizan a través de procesadores y lógica programable con señales muestreadas. Sin embargo, existe una parte que no es reconfigurable (la parte *hardware* como las FPGAs⁷) y que será lo más flexible que permita esta tecnología.

La parte *hardware* para el tratamiento de la señal que permite que sea reconfigurable mediante *software* es la sintonía, filtrado de señal y amplificación (ver Tabla 2 para ver diferencias con una radio convencional).

RADIO CONVENCIONAL	RADIO LÓGICA (SDR)	Niveles de comunicación
SOFTWARE	SOFTWARE	Aplicación
		TCP/IP
		Gestión de enlace
		Entramado
		Ordenación
		FEC
		Multiplexación
		Módem
		Sintonizador digital
		ADC
HARDWARE	HARDWARE	Sintonía/Filtros/Amplificación

Tabla 2 Niveles de comunicación en la radio convencional y en la SDR.

Fuente: [5].

La principal ventaja que presenta este sistema es, entre otras, la adaptación del frontal de radiofrecuencia (RF) a distintas frecuencias, bien mediante los frontales fijos de banda muy ancha o dispositivos analógicos reconfigurables [7]. A diferencia de una radio *hardware*, que el módulo es analógico adaptados a la banda de trabajo donde solo

⁶ Aplicación informática que se relaciona con otra para agregarle una función nueva y muy específica.

⁷ FPGA: *Field Programmable Gate Array*, son circuitos integrados que contiene el sistema SDR que permiten lógica digital muy rápida para por ejemplo el caso actual donde se requiere frecuencias de muestreo en torno a los GHz.

se van a poder interceptar portadoras⁸ de esta banda. Además, este dispositivo puede implementar 20 normas de radio diferentes, ya que existe una SCA (Arquitectura de comunicaciones *software*) normalizada.

En la Figura 2 se muestra la arquitectura compactada de una radio SDR, a modo de comprender de forma más visual el sistema agrupado en bloques funcionales. Como podemos ver estas tres partes principales son el Frontal de Radiofrecuencia (RFFE) o, el Sistema de tratamiento (PE) o sección de banda base y finalmente la sección de procesado, que serán explicados en profundidad en el siguiente apartado.

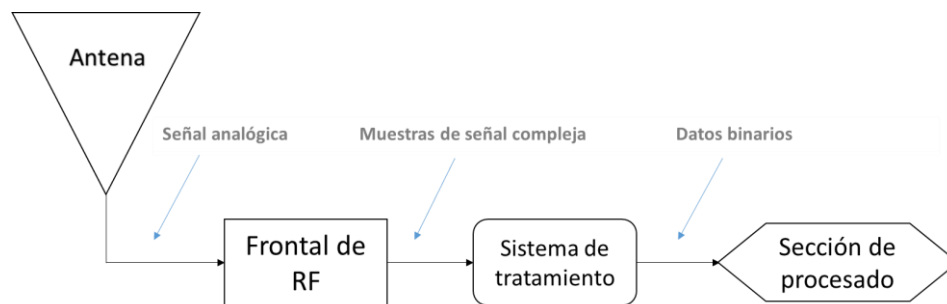


Figura 2 Partes funcionales de un receptor SDR.
Fuente: Elaboración propia a partir de [7].

2.3 Partes que componen el sensor pasivo SDR

Un receptor SDR está definido únicamente por *software*, pero a su vez necesita de algunos elementos *hardware* para realizar su función. Los principales son una antena multibanda, un conversor de la señal analógico/digital y los procesadores digitales programables.

Además, se van a necesitar más componentes *hardware* para el tratamiento de la señal como son filtros, componentes de propósito general para el procesamiento de los datos, amplificadores de RF o convertidores de frecuencia, que se utilizan para optimizar cualidades como SNR (*Signal Noise to Noise Ratio*⁹) o MIPS (*Millions of Instructions per second*¹⁰) del sistema.

⁸ Una portadora indica a la frecuencia que se transmite la señal modulada, siendo una onda con mayor frecuencia, modificada en alguno de sus parámetros para transmitir información.

⁹ SNR: Proporción entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido que la corrompe. Su unidad de medida es decibelios (dB)

¹⁰ MIPS: medida de velocidad del procesador de un aparato electrónico, particularmente cuantos millones de instrucciones se procesan por segundo.

Según la clasificación (Figura 2) del apartado anterior, se van a explicar los tres bloques y que funciones realiza cada uno. Se pueden ver sus componentes básicos en la Figura 3:

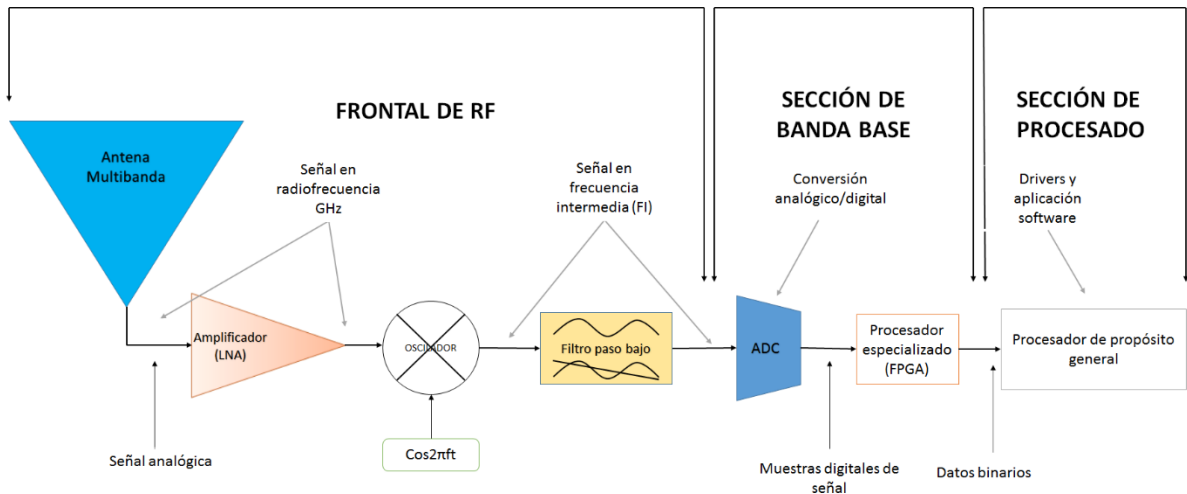


Figura 3 Arquitectura básica de un sensor SDR.
Fuente: Elaboración propia a partir de [6].

Frontal de RF.

Su función es captar la señal gracias a la antena multibanda y trasladar en frecuencia la señal portadora con el fin de adaptarla al convertidor analógico. Al trabajar en frecuencias del orden de GHz, se necesitará desplazar en frecuencia a la banda base (en Megahercios (MHz)), esta frecuencia se denomina frecuencia intermedia (IF), y traslada esa señal correctamente muestreada al sistema de tratamiento.

Además, se necesitan amplificadores de bajo ruido (LNA) para aumentar la potencia y un filtro de rechazo de imagen, por la frecuencia espejo (la cual posee mayor frecuencia) creada en el oscilador (en las Figuras 4; 5; 6 se puede ver este proceso, en el que la parte sombreada de la señal sería la que acepta el filtro). En esta parte se realiza el procesamiento analógico de la señal.

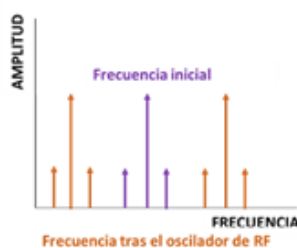


Figura 4 Imagen procedente del oscilador de frecuencia.
Fuente: Elaboración propia.

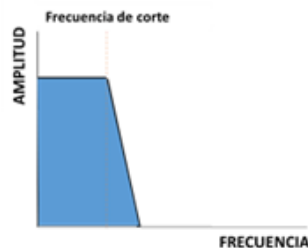


Figura 5 Filtro de rechazo de imagen.
Fuente: Elaboración propia.

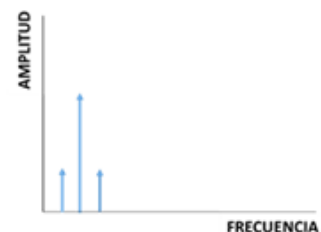


Figura 6 Frecuencia obtenida tras el filtrado.
Fuente: Elaboración propia.

Sección de banda base.

Una vez trasladada la frecuencia a banda base, está se cuantifica mediante la frecuencia de muestreo o frecuencia de Nyquist¹¹, que ha de ser el doble del ancho de banda de la señal de banda base. La función de esta sección es convertir en datos binarios las muestras complejas de señal que se reciben del frontal de RF.

Lo propio, es que el conversor analógico/digital (A/D) posea cuanta más velocidad, así aumenta la simplicidad del sistema, pudiéndose situar lo más cerca posible a la antena.

En orden que sigue el receptor, primero se modula la señal de información convirtiendo¹² a símbolos binarios. Después se convierten estos símbolos binarios en similares para evitar la aparición de largas series de números. Después se añade una secuencia de comprobación de trama y finalmente se empaqueta (en octetos que representan caracteres) y entrama¹³ la información.

Se utilizan también bloques de procesamiento especializado (ej: FPGA) para mejorar la eficiencia y disminuir la carga de procesado a la siguiente sección.

Sección de procesado

En esta sección, la señal se procesa a baja velocidad mediante una aplicación *software*, como la utilizada en las prácticas (SDRSharp) con los dispositivos utilizados. Recalcando que existen múltiples soportes de *software* libre, además de los soportes que incluyen los dispositivos SDR de altas prestaciones [8]. Con un procesador en el ordenador se realiza la demodulación y el filtrado. Se presenta la información en el ordenador a modo de parámetros de las ondas radar (en este caso) captadas por el sensor, preparados para ser transmitidos, realizar análisis, encriptar, etc.

En el Anexo B se ve cómo se puede conseguir la recepción y localización de emisiones mediante un programa de *software* con diferentes módulos o *plug-ins* que permiten distintas funciones de análisis. Estas han sido las pruebas realizadas con un SDR de menores prestaciones en la unidad, pudiendo observar cómo se reciben las emisiones del espectro electromagnético.

¹¹ Para poder digitalizar una señal analógica y poder recuperarla con la máxima fidelidad posible, se requiere que la señal analógica sea muestreada al menos dos veces su frecuencia máxima.

¹² Conversión analógico-digital consiste en la transcripción de señales analógicas a señal digital para facilitar su procesamiento y hacer la señal digital más inmune al ruido y a las interferencias.

¹³ Una trama es una unidad de envío de datos. Es una serie sucesiva de bits, organizados en forma cíclica, que transportan información y que permiten en la recepción extraer esta información.

3 Análisis del sistema actual.

3.1 Funcionamiento y propósito de la estación.

La EB de No-TLC tiene como finalidad la búsqueda, interceptación e identificación de las emisiones electromagnéticas para asegurar el uso eficaz del espectro por las fuerzas propias. Ello conlleva análisis, goniometría, seguimiento, registro de pulsos, evaluación, etc.

Esta estación es transportada sobre una plataforma en el vehículo URO VAMCTAC S3, instalada en el *shelter* NATO-II, y alimentada por un GRE (Grupo Electrónico Pesado) de 12Kva¹⁴ (Kilovatio amperio). El *shelter* está compuesto por los siguientes equipos que se muestran en la Tabla 3 y se observan en la Figura 7.

Equipos principales		
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de exploración o Sensor de banda UHF o Sensor de banda SHF o Sistema de antenas • Sensor de análisis o Receptor superheterodino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Receptor digital o MGSH o Receptor Digital ELINT o Matriz ELINT o CRA • Ordenador personal de tipo industrial 	<ul style="list-style-type: none"> • Zifer GPStarplus • Analizador de Espectros • Osciloscopio digital
Elementos internos		
<ul style="list-style-type: none"> • Telecomunicaciones con el resto del sistema. o Switch o Router modular o Unidad de distribución de comunicaciones o Amplificadores o Elementos de comunicaciones RBA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución eléctrica. o Grupo electrógeno o Cuadro de distribución eléctrica o Unidad de alimentación ininterrumpida (SAI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuidor de alimentación • MOLTU MT-323 • CRIPTO CM109E • Unidad de supervisión • Distribuidor de comunicaciones
Elementos externos		
• Antena ESM	• Antena ELINT	• Antena radio PR4G

Tabla 3 Listado de material de la EB.
Fuente: elaboración propia a partir de [2]

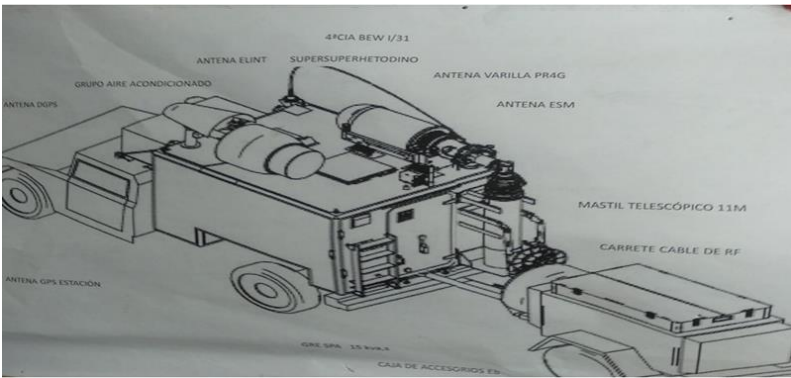


Figura 7 Esquema del despliegue de los equipos de la EB.
Fuente: Imagen tomada de la ficha informativa de dentro de la EB.

¹⁴ Las KVA son una unidad de potencia aparente de características principalmente inductivas cuando funciona con corriente alterna, es 1KVA=0,8KW. Para instalaciones eléctricas monofásicas la equivalencia es 1KVA=1KW.

Véase también fotografía de la EB, así como la distribución de los equipos y conexión lógica de los mismos en el anexo C.

3.2 Problemática del sistema.

La EB cuenta con capacidades adecuadas y consigue los objetivos asignados a su estación, aunque no en las condiciones más óptimas para conseguir un control del espectro electromagnético. Permite realizar todas las actividades de exploración, pero tiene varias carencias que se han ido presentando con el paso de los años, debidas al uso y a la obsolescencia de esta tecnología que tiene ya 20 años. A raíz de las conclusiones obtenidas durante el estudio de las capacidades de funcionamiento de las EB estos son sus principales fallos.

En primer lugar, la configuración de la estación hace que el centro de masas de la plataforma al completo sea muy elevado, por lo tanto, el vehículo es inestable. En la anterior Tabla 3 se puede observar la cantidad de equipos que porta la estación. Además de que las modificaciones sobre la EB hacen que supere el peso máximo permitido para el vehículo plataforma. No se podría disponer de otro vehículo¹⁵ o camión por falta de disponibilidad en la unidad y de asignación por parte de las AALOG (Agrupación de apoyo logístico) para suministrar. Para una conducción segura en un convoy militar, la tripulación mínima de un vehículo debe ser de conductor y acompañante¹⁶. Esto no se cumple ya que por exceso de peso solo puede ir un conductor sin equipo, llevando al resto de personal, equipo de combate y grupo electrógeno por otros medios. Además, el vehículo sufre múltiples averías en los itinerarios.

Así mismo se producen deficiencias de funcionamiento durante maniobras, ejercicios tácticos o pruebas. Los equipos son extremadamente sensibles y complejos, de forma que no son totalmente adecuados a un empleo táctico y versátil. Gran parte del tiempo estas estaciones están inoperativas debido a las averías de las tarjetas *hardware* del sistema, estas sirven para diversos fines como el análisis de las señales, el control de las antenas, etc. Las reparaciones de tercer y cuarto escalón¹⁷ se encuentran reservadas por parte de la empresa, y en muchas ocasiones, al ser equipos antiguos o muy específicos no se comercializan, por lo que deben fabricarse *ad hoc* para una sustitución completa. Por lo que una avería de este tipo supone la inoperatividad de la estación durante varios meses.

Los costes del mantenimiento del sistema durante esta etapa final de su ciclo de vida son insostenibles en comparación con sus capacidades obsoletas.

¹⁵ Se estudia la adquisición de URO VAMTAC S5, con mayor potencia y capacidad para soportar el peso del *shelter* con el mástil nuevo.

¹⁶ Según la normativa del manual de instrucción de conducción militar del Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC). [22]

¹⁷ Reparaciones de material más específicas que suelen estar externalizadas.

3.3 Solución con un sensor pasivo SDR.

Con este sistema se desarrolla otro sensor táctico adicional para el subsistema, con capacidades reducidas, y coste notablemente inferior. No mantiene las mismas funcionalidades en cuanto a precisión en el análisis debido a que el sistema actual cuenta con equipos más costosos¹⁸. La EB cuenta con arrays de antenas con mucha ganancia y equipos de alta precisión. Sin embargo, este sistema se diseña con reducción del alcance y precisión de goniometría e interceptación en un equipo más ligero y adaptable.

Al utilizar menos material *hardware* no se precisa de un vehículo o plataforma que soporte tanto peso o lleve tanto volumen de carga, pudiendo utilizar un vehículo ligero, disponible en las unidades, para su equipaje y transporte a los lugares deseados con gran rapidez. De forma que únicamente sea necesario disponer de un vehículo de este tipo en dotación actual de la unidad¹⁹, con más espacio para trasladar personal o equipo si fuese necesario.

Otra ventaja es que este equipo no precisa de una climatización entre 15°C y 25°C como la EB, ya que el material *hardware* utilizado no es tan sensible a las temperaturas y no se sobrecalienta, permite su operatividad en el intervalo de los 0-55°C (con un calefactor/ventilador común sería suficiente para su utilización en climas extremos), ya que los equipos que conforman el frontal de RF y banda base de la antena no necesitan tanto mantenimiento como el osciloscopio y las tarjetas de análisis de la EB. A su vez esto garantiza que la estación no va a dar problemas de funcionalidad y que no va a ser necesaria su reparación por la empresa proveedora con tanta frecuencia, con tanto gasto de tiempo y recursos como hemos indicado. Con el *software* se pueden procesar y analizar las señales, todo ello desde un solo ordenador personal en el vehículo.

Por otra parte, el despliegue de la estación se reduce considerablemente en cuando a complejidad y tiempo necesario, siendo más fácil para el personal de apoyo (tropa). Además, este sistema *software*, es más versátil y puede utilizarse para analizar otras bandas de frecuencias tan solo reprogramando o cambiando los equipos *hardware*.

¹⁸ Del orden de 2,4 millones de euros este sistema [23] y en su mantenimiento, 423.500 de euros [24].

¹⁹ El material necesario a incluir en el vehículo se explica en el apartado 4.1.3, así como el vehículo en el 4.1.4.

4 Sensor pasivo definido por *software*.

A continuación, se exponen en la Figura 8 todas las actividades llevadas a cabo y consideraciones sobre la implementación de este sensor pasivo. Entre ellas se encuentra la selección de los materiales *hardware* para tratar la señal, que posteriormente es procesada mediante *software*. En el que hay que hacer las conversiones necesarias para trabajar con el sistema GESTA, así como tener en cuenta el mantenimiento, ciclo de vida, coste y principales riesgos.

Es de gran importancia para el diseño del sistema alcanzar requisitos de calidad de recepción, rendimiento y utilización en toda la banda de frecuencias radar de cara a la selección de los materiales y programa *software* por sus características técnicas.

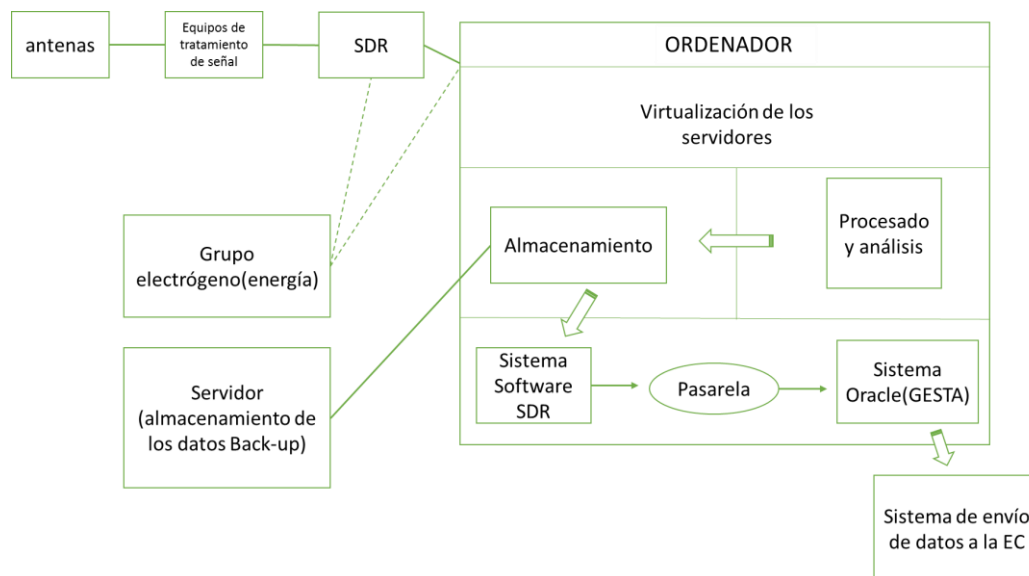


Figura 8 Relaciones y conexiones del sistema sensor pasivo definido por *software*.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Hardware del sistema.

La metodología seguida para la selección de estos dispositivos ha sido la investigación en manuales, trabajos y fichas de datos, la puesta en contacto con empresas proveedoras de este tipo de productos y el análisis de las características técnicas para la interconexión de aparatos y compatibilidad en términos de voltajes, impedancias, conexiones y *software* utilizado para el control del SDR. Además de la elección del vehículo sobre el que es transportado.

Llevando a cabo de esta forma una selección de materiales y un estudio de la señal tratada según recorre cada componente para conseguir la mayor ganancia de recepción posible, la mejor SNR, buenos niveles de salida (en dB) y demás conceptos explicados a continuación.

4.1.1 Análisis de equipos que tratan la señal analógica.

En este subapartado se explican los distintos dispositivos que tratan la señal analógica, ellos irán conectados en serie mediante cableado en el orden expuesto. Cabe destacar la importancia de que todos ellos sean compatibles, y que garanticen un rendimiento óptimo. Para esto último, todos los equipos tienen una impedancia de 50 ohmios, cuya variabilidad introduciría más ruido en el canal.

4.1.1.1 Estudio de alternativas del subsistema de antena.

Para conseguir la interceptación de señales en la AOR asignada se necesita una antena o array de antenas que reciban las señales de la banda del espectro en el que trabajamos. Esta banda (radar) son señales de frecuencia muy alta y por lo que los efectos de la atenuación atmosférica son mayores. A raíz de esto, es necesario una sensibilidad muy alta para conseguir un alcance adecuado, lo que implica a su vez que este subsistema tenga una buena ganancia.

Otro problema ha sido cubrir un ancho de banda tan grande porque se necesitan equipos que trabajen en la búsqueda de señales de muy distinta longitud de onda, esto se consigue mediante antenas logoperiódicas o conformar un array que aumente las capacidades de recepción [9].

Se opta por obtener una recepción omnidireccional para cubrir todas las posibles direcciones de emisión desde el punto en el que nos encontramos. Para lo cual utilizamos un subsistema antena omnidireccional o una antena direccional con un rotor que gire con un sistema mecánico y que cubra así 360°. Por un lado, con una antena omnidireccional nos evita la pérdida de interceptaciones en zona de sombra por eliminar el spin, pero una antena direccional posee más ganancia de recepción [10]. También se ha tenido en cuenta que la antena sea capaz de recibir las diferentes polarizaciones de la onda electromagnética.

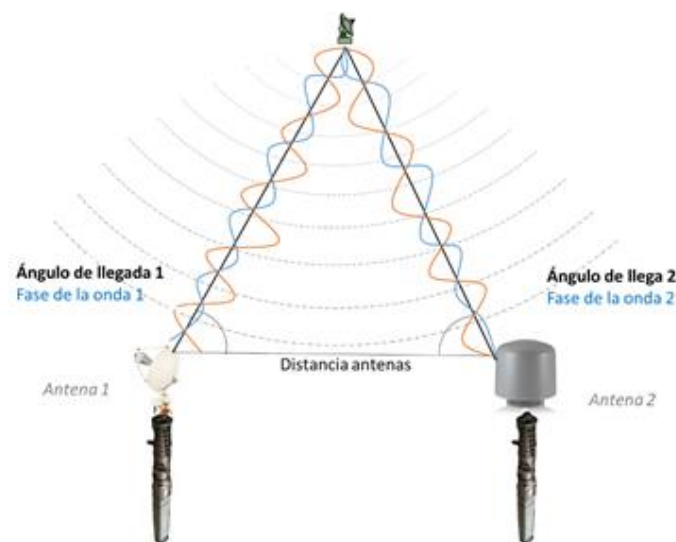


Figura 9 Interceptación de señales y captación de sus parámetros mediante un subsistema de dos antenas.
Fuente: Elaboración propia.

Se ha considerado dotar al sistema de varias antenas con el objetivo de conocer más parámetros de las interceptaciones como el ángulo de llegada [11] o la localización

goniométrica como vemos en la Figura 9. Por esto se ha estudiado la posibilidad de obtener dos antenas, una omnidireccional que cubra el espacio en todas las direcciones, y una direccional que al localizar la señal la otra antena, esta sintonice también esa dirección y se establezca una recepción desde estos dos dispositivos diferentes pudiendo obtener más parámetros [12]. La otra opción barajada es adquirir una antena direccional única con el rotor anteriormente mencionado, ya que de entre las antenas contempladas poseen una ganancia de 15-40dBi frente a tener una única antena omnidireccional de 0-4dBi [13], con la que no se consigue tan buena recepción de emisiones a mayor distancia.

Existen los problemas comentados de los materiales extra necesarios para disponer de dos antenas, ya que se necesitaría más presupuesto, ocuparían más espacio y utilizan el doble de materiales *hardware* de tratamiento. En la Tabla 4 se muestra la matriz de decisión para adquirir uno u otro, cuyos atributos (precio, volumen y número de materiales en la estación, funcionamiento, etc.) ponderan en función de la relevancia ponderada suministrada para la elaboración del proyecto.

Selección de subsistema antena	Fecha	05-oct	
	Proyecto	Implementación de un sensor pasivo definido por software en la banda de frecuencias radar	
	Concepto	Decisión entre subsistema con dos antenas o subsistema con una antena	
	PESO (%)	Antena omnidireccional con antena direccional	Antena direccional
Coste	15		
Evaluación ponderada		70%	95%
Materiales necesarios	10		
Evaluación ponderada		75%	100%
Volumen y peso máximo del vehículo	15		
Evaluación ponderada		90%	100%
Rendimiento de recepción	35		
Evaluación ponderada		95%	70%
Capacidades funcionales	25		
Evaluación ponderada		90%	70%
Media ponderada		87,25%	81,25%
Puesto final		1	2

Tabla 4 Matriz de decisión del subsistema antena.

Fuente: Elaboración a partir de lo datos de [13].

En la tabla se ha valorado adquirir un sistema u otro en función de 5 parámetros. Entre los que podemos ver que los más importantes son el rendimiento de recepción y las capacidades funcionales, y los que hacen que la balanza se decante por el sistema con una antena omnidireccional y otra direccional. Porque, aunque sea un sistema más caro, como se verá en el apartado 4.4 y que pueda llevar el vehículo más cargado, este, no excede ni el peso ni el volumen máximo (apartado 4.1.4) y se consigue una recepción más precisa y con un mayor número de parámetros a utilizar, lo cual es de vital importancia en la interceptación de señales. La antena direccional con el rotor perdería la mayoría de señales, por lo cual lo más idóneo es utilizar una combinación de ambas.

4.1.1.2 Frontal de radiofrecuencia.

La señal que recibe el sensor pasivo ha de ser tratada porque contiene ruido, interferencias, bandas de frecuencia que no son de interés para la maniobra, baja potencia,

etc. Para ello se necesitan diferentes dispositivos electrónicos que realicen todas estas operaciones, antes de poder realizar la conversión de la información de la señal.

Para este sistema en concreto no van ser necesarios más que dos componentes *hardware* de tratamiento de la señal, debido a que muchas de las funciones como el procesamiento y el análisis de la señal se hacen mediante *software*. A esto se le suma que, debido al avance de la tecnología, el SDR adquirido para este proyecto es un sistema modular de altas prestaciones y que todas las funciones de modulación, filtrado y demás, van incluidas en la placa madre²⁰ de este módulo.

Como comentábamos en el apartado 2.3, la señal pasa por un amplificador de radiofrecuencia justo después de ser captada, con el objetivo de aumentar la amplitud de la señal lo que hace poseer al receptor:

- Mejor SNR. Mejora el nivel de la señal con respecto al ruido existente.
- Mayor sensibilidad de recepción. El amplificador hace mayor la intensidad de la señal captada.
- Disminuye la probabilidad de interferencias.

El amplificador seleccionado para este sistema es el Amplificador AML0118L2512 de la empresa Mercury Systems. Este amplificador es de bajo ruido (Low Noise Amplifier), para el funcionamiento a frecuencias más altas y la introducción de menos ruido en el canal. Funciona en el rango de frecuencias de 0,1-18 GHz con un mínimo de ganancia de 24,8 dB [14]. Esto hace que nuestro receptor sea más selectivo, de cara a nuestro siguiente paso, el filtrado.

El filtrado de señal es un elemento electrónico que deja pasar un rango de frecuencias y atenúa las demás. Existe una o dos frecuencias de corte según si el filtro es de paso alto/bajo o de paso banda. Este aparato es indispensable en todos los sistemas de procesamiento de señales, para así evitar el aliasing²¹.

Para este sistema vamos a utilizar un filtro de paso alto, para atenuar todas las frecuencias que no están comprendidas en la maniobra en concreto por ser inferiores a esta banda (el filtro será adaptable en torno a un conjunto de frecuencias). Con el objetivo de disminuir así la probabilidad de interferencias en la digitalización de la señal si las distintas frecuencias se mezclan y el receptor digitaliza una “suma” de todas ellas que conllevaría a una transcripción errónea. El filtro utilizado es el PE8718 de la empresa PASTERNAK, un filtro de paso alto con el rango de frecuencia de corte de 0,3-1 GHz [15].

²⁰ En la tarjeta principal o placa madre se realiza la conversión analógico-digital, se desplaza a banda base y sus muestras diezmadas para conseguir los datos de salida y su posterior envío al PC.

²¹ El aliasing es el efecto que causa que las señales continuas se hagan indistinguibles cuando se muestrean digitalmente.

De esta forma obtenemos una señal más acotada en el ancho de banda de interés y con potencia suficiente para ser la señal trasladada en frecuencia y modulada en el SDR para su posterior procesamiento que veremos en el siguiente apartado.

4.1.2 Características del SDR utilizado.

El SDR utilizado es un sistema modular de altas prestaciones controlable por cualquier tipo de *software*. Este sistema está formado por dos módulos funcionalmente separados. El primero de ellos se encarga de realizar todas las modulaciones analógicas de la señal de entrada (frontal analógico de banda ancha), y el segundo es un receptor digital con conversores y FPGAs que realizan las funciones de frontal digital y sistema de proceso.

Este SDR es el Echotek Series RFM-1802RF de la empresa Mercury Systems [16]. Con características como bajo ruido (-96dBc/Hz a 1KHz offset), frecuencia de funcionamiento de hasta 18 GHz y gran ancho de banda de trabajo en la frecuencia intermedia (de 160 a 500 MHz). Esto último permite un análisis de gran parte del espectro de la señal, que también utiliza una tasa de muestreo de información elevada por lo que se necesita gran capacidad de almacenamiento de información. Se puede apreciar una imagen del sistema modular en la Figura 10, y para más características vaya al Anexo D.



Figura 10 RFM-1802RF high-performance tuner.

Fuente: [16]

Al realizar todas estas modulaciones analógicas y tener placas de conversión de dos canales, permite que no sea necesario utilizar más *hardware* analógico que el mencionado en los apartados anteriores. En la Figura 11 se puede apreciar la disposición de los elementos electrónicos que constituyen la interfaz entre la señal analógica y el módulo digital (el cual convierte la señal a digital, la desplazada a banda base y empaqueta y entrama sus muestras). Por último, el módulo digital pasa los datos de salida al PC a través del puerto USB.

Este dispositivo posee tres modos de funcionamiento en función de cuanto control tiene el operador para configurar la frecuencia, la ganancia y el tiempo de permanencia en dicha banda. Pudiendo tener control total, haber configurado de antemano el régimen de cambio o pudiendo alterar la lista de frecuencias a la hora de funcionar a

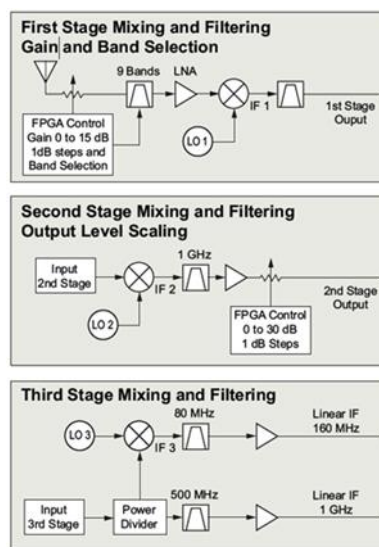


Figura 11 Módulo de tratamiento de señal.

Fuente: [16]

medida que cambian las demandas de la misión. En cuanto al control de este dispositivo (para introducir las frecuencias de recepción y analizar la señal entre otras funciones) se pueden utilizar distintos programas de *software* libre o de adquisición que incluyen ya varios programas de análisis, además del *software* que incluye ya este dispositivo.

4.1.3 *Hardware* necesario para el sensor.

Para el diseño del receptor de radiofrecuencia en banda radar se ha utilizado el material que se detalla en la siguiente tabla:

HARDWARE	DISPOSITIVO UTILIZADO	
Ordenador de uso general	Asus GL552VW Procesador Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz, 2592 Mhz, 4 procesadores principales, 8 procesadores lógicos	
Servidor	SERVIDOR DE DATOS HP PROLIANT ML110 GEN9	
Conectores hardware de RF	Cables coaxiales con conectores BNC, adaptadores BNC/MDA	
Ventilador/ calefactor	Rowenta Calefactor Ventilador Air Force Hot & Cool	
Grupo electrógeno	Equipo en dotación GE-7500 DES/GS-L	
Dispositivo SDR	Módulo de RFM-1802RF With Synthesizer ADV-1800S Dual-Channel Wideband Microwave Tuner	
Hardware de RF de SDR		
Mástil	Mástil de HC en dotación en el ET	
Filtro de paso alto	PASTERNAK PE8718	
Amplificador	Mercury Systems AML0118L2512	
Dispositivo antena (omnidireccional)	R&S®AC005 Omnidirectional Antenna	
Dispositivo antena (direccional)	R&S®AC008 Microwave Directional Antenna	

Tabla 5 Listado del material necesario para el sensor pasivo.

Fuente: Elaboración propia a partir de [7],[14],[15] y [16].

Esta selección de material se ha realizado comprobando la compatibilidad de todos ellos y teniendo en cuenta el coste en comparación de los demás equipos disponibles en el mercado.

El servidor, con capacidad de almacenamiento de 256GB, iría conectado al ordenador y actuaría como un *back-up* para almacenar la información en la base de datos que es analizada a posteriori. A su vez se implementa mediante discos magnéticos conectados por fibra óptica una memoria extra para el análisis de las tramas a tiempo real y enviar la información a la EC. El grupo electrógeno ligero pesa 100Kg y puede ser transportado y posteriormente desplegado del propio vehículo, debido también al

reducido volumen de todos los equipos que se pueden disponer fácilmente junto con el puesto del operador.

DISPOSITIVO	UNIDADES	GASTO UNITARIO(W)
Ordenador	1	120
Calefactor	1	2000
SDR	1	70
Servidor	1	85
Cableado	4	72,2
Amplificador	2	1,92
Filtro	2	5
Antena Omnidireccional	1	2
Antena Direccional	1	10
TOTAL		2589,64

Tabla 6 Potencia de utilización del sensor pasivo.

Fuente: elaboración propia a partir de [14], [15], [16] y demás fichas técnicas de los dispositivos.

Para no sobrepasar la potencia de utilización del grupo electrógeno (7,5 Kva), se han tenido en cuenta la potencia de funcionamiento de los distintos equipos, para ver cuál es el gasto conjunto de los mismos en la Tabla 6. Se han hecho los cálculos para el caso de máxima utilización del calefactor por necesidad de mantener la temperatura de los equipos y de los equipos de antena funcionando para recibir al

máximo de sus capacidades, además de considerar las pérdidas por calor, radiación, etc. del cableado del sistema por encima de los valores normales calculados vía [17]. Como vemos no supera los 7,5Kva, con lo que el grupo electrógeno podría funcionar 9,5 horas con 18 litros de gasolina quedándose al 25% de carga.

Se necesita un amplificador y un filtro por antena, así como cableado. No siendo así con el módulo SDR, ya que incluye dos entradas de RF, donde se introducen y procesan estas señales para después ser tratado por un programa *software* que incorpora el propio SDR.

4.1.4 Vehículo y adaptaciones utilizadas.

Realizando un estudio de las capacidades de la plataforma vehicular, se considera viable el transporte de los elementos sobre un vehículo ligero. El transporte utilizado para desplazar este sistema es el vehículo ligero Santana Anibal de dotación en el ET. Cuyo peso máximo para transportar en la parte trasera son 1000 Kg y posee un volumen de 2,02 m³ (ganando aún más espacio desmontando los asientos), por lo que es capaz de montar todo el material indicado en el apartado anterior.

El vehículo es carrozado para proteger los equipos de las condiciones atmosféricas y portará un ventilador/calefactor pensado para aclimatar el vehículo en caso de temperaturas que se acerquen a las limitaciones técnicas de SDR (de 0°C a 55°C), que es el equipo con más restricciones de temperatura

A su vez portará dos mástiles de antena HC, cuya utilización es posible porque estas antenas son de reducido peso y tamaño, para desplegar las antenas una vez ubicado el vehículo en el puesto establecido.

En las siguientes Imágenes 12; 13; 14 se puede observar las conexiones entre los distintos equipos mencionados, así como la caja (parte trasera) del vehículo donde irían estos equipos.

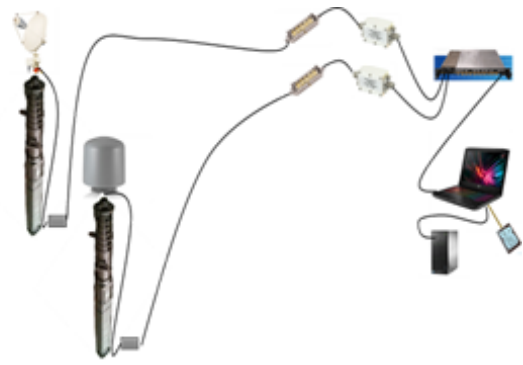


Figura 12 Sensor pasivo desplegado.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13 Lateral del vehículo ligero Santana Anibal.
Fuente: Imagen tomada en la unidad REW 31.



Figura 14 Interior del vehículo ligero Santana Anibal.
Fuente: Fuente: Imagen tomada en la unidad REW 31.

4.2 Arquitectura *software*.

El SDR incluye un *software* de procesamiento y análisis de las emisiones interceptadas, con el que podemos adquirir los parámetros recepcionados por las antenas, y guardarlos en una base de datos.

Para ser estos datos utilizados por la EC, es necesario que la información esté en el mismo formato que la base de datos de GESTA, que usa el sistema *software* de Oracle, y así disponer de los mismos atributos de identificación y parámetros de las señales electromagnéticas captadas. Esto es indispensable para que el sistema sea interoperable, requisito para cumplir los objetivos del Plan MC3²². De modo que se implementa un sistema pasarela que cambie los datos de una base de datos a otra. Esto no es más que un programa que cambie la estructura implementando un cambio de lenguaje para ser “leído” por el sistema operativo de la EC.

²² El Plan de Modernización de los Sistemas de Mando, Control y Comunicaciones (Plan MC3), dirigido por la DGAM (Dirección General de Armamento y Material), tiene como objetivo modernizar estos sistemas para mejorar las capacidades operativas del ET. [25]

El almacenamiento de los datos de las interceptaciones se ha de realizar en función de si se van a analizar en el momento o a posteriori, habiendo guardado toda la información recibida. Para ello se realiza una virtualización de servidores²³ y así poder dividir estas tareas de forma lógica.

4.2.1 Almacenamiento de datos.

Para permitir la capacidad de recepción de los datos durante un largo periodo de tiempo se necesita una gran capacidad de almacenamiento. Debido al ancho espectro electromagnético que se ha de cubrir y la cantidad de datos a almacenar en tiempo real de las emisiones con un ancho de banda de muestreo de hasta 500 MHz.

Si se desea operar a tiempo real se ha incluido un disco magnético de almacenamiento conectado por fibra óptica para tener un acceso más rápido a esta información. De esta forma aumentamos el almacenamiento del ordenador para trabajar con datos de forma instantánea. A su vez se pretende virtualizar el sistema en servidores para que este operador solo se ocupe de la interceptación y el procesamiento en vivo. De esta forma se permite optimizar la tasa de utilización de servidores, reduciendo costes de gestión, de administración y de consumo energético.

Otro servidor virtualizado sería el servidor de *back-up*, almacenando el servidor físico y con capacidad de estar un día entero recopilando información de la banda radar para su posterior análisis. Esta sería la otra posibilidad de trabajar, también pudiéndose implementar ambas de forma simultánea.

El tercer servidor se compone del sistema de análisis (que también lo posee el operador que se encarga de interceptar) y del subsistema que realiza la pasarela entre ambas bases de datos.

Existen varios programas de virtualización que fácilmente pueden implementar la abstracción de estos sistemas operativos de inicialmente un único. Para ello se pueden utilizar VMware o Virtual Box, ya que ambos tienen estas aplicaciones de virtualización de uso general

4.2.2 Subsistema pasarela.

Para poder obtener los datos de las emisiones en el sistema de GESTA se establece una base de datos con los mismos atributos de las emisiones captadas, mediante la conversión de una base de datos a otra. Mediante un soporte *software* que haga de pasarela hacia Oracle, “haciendo que una base de datos se parezca a otra”. Esta pasarela se implementa en el sistema del sensor pasivo, de forma que estas conversiones se realizan en la propia estación. En la Figura 15 se detalla de forma conceptual.

²³ La virtualización de servidores es una tecnología que nos permite ejecutar diferentes sistemas operativos simultáneamente sobre la misma máquina física. [26]

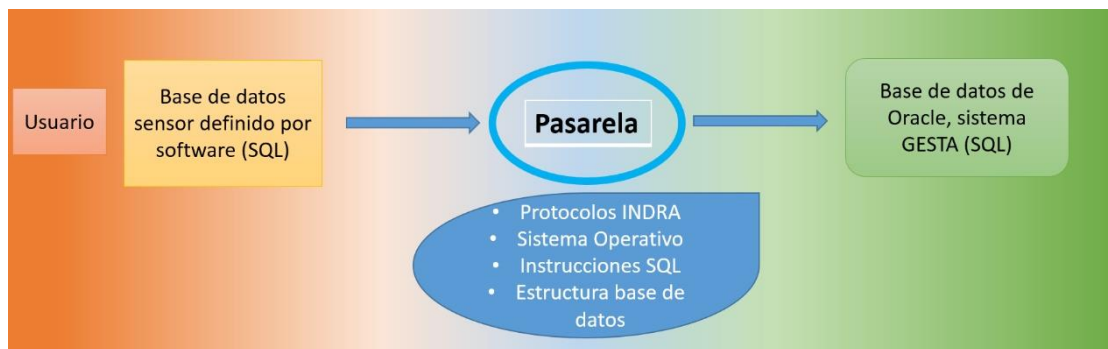


Figura 15 La pasarela hipotética proporcionada para Oracle.

Fuente: Elaboración propia a partir de [18].

Se necesitan realizar distintas funciones para cambiar al formato de la base de datos, entre ellas están [18]:

- Implantar los protocolos de cambio de información entre nuestra base de datos y Oracle, lo cual implica cambiar el formato de cómo se envían los mensajes (datos de emisiones captadas).
- La pasarela debe ser capaz de implementar cualquier instrucción SQL de ambas bases de datos, para conocer ambos lenguajes que intercambia.
- Hacer todas las transformaciones entre los tipos de datos. Lo cual incluye las diferencias en el código de caracteres, diferencias en la longitud de palabras, diferencias en formato, en el soporte fecha-hora, etc.
- Manejar una diversidad de diferencias de desacoplo semántico. Como pueden ser las diferencias en unidades de medida, diferencias en la representación lógica de la información, en los tipos de datos, etc.
- Transformar el léxico de Oracle al formato de la primera base de datos del sistema, para que el sistema y los usuarios puedan saber lo que contiene la base de datos de Oracle.

De esta forma se podrían utilizar las interceptaciones en la EC y comparar los datos con las demás interceptaciones realizadas por las EB. En el Anexo F se pueden observar los atributos de las principales entidades a analizar (interceptaciones y emisores).

4.2.3 Funcionamiento.

El sistema recoge los datos de las interceptaciones mediante el programa *software* incluido en el SDR. En función de los *plug-ins* que contiene, es o no necesario implementar más que posibiliten obtener la localización goniométrica, o el ángulo de llegada de la emisión recibida. Otros factores muy característicos e importantes de las frecuencias radar son el PRI²⁴(Periodo de repetición interpulso), el ancho de banda y la frecuencia de la portadora.

²⁴ Período de repetición interpulso o PRI se define como el periodo de cadencia de pulsos transmitidos por un sistema radar. Sus unidades son el *uSeg*.

Una vez obtenidas estas intercepciones con sus principales atributos se implementa el cambio de base de datos o pasarela para posteriormente puedan ser utilizados por el sistema GESTA. Donde se comparan los datos recibidos con una base de datos de referencia nacional previamente actualizada, para saber qué tipo de equipo es el localizado.

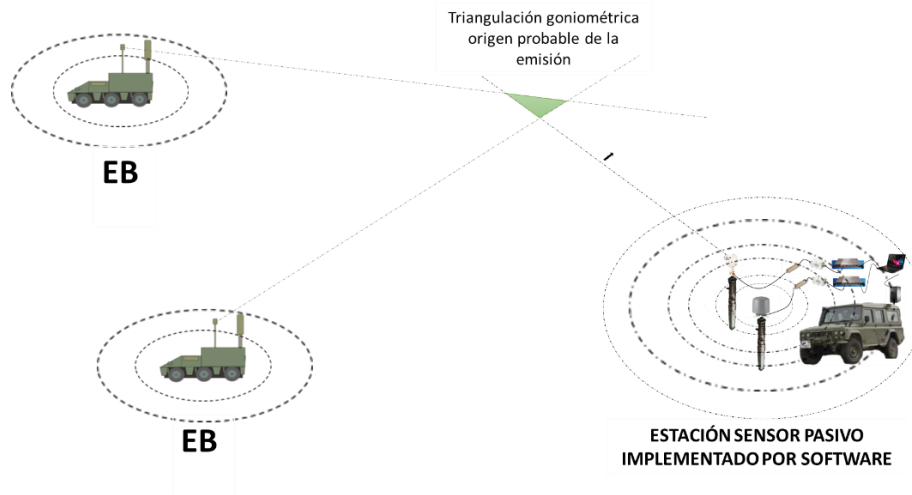


Figura 16 Localización goniométrica de un emisor mediante el sistema GESTA con el sensor pasivo implementado por *software*.
Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 16 se puede ver el resultado de la operación conjunta de estos sistemas, pudiendo establecer una precisa localización de la emisión recibida, y que logra nuestro objetivo principal del proyecto, previamente habiendo relacionado ambos sistemas.

4.3 Plan de sostenibilidad.

En esta sección se realiza un estudio de ciertos puntos a tener en cuenta para realizar un buen uso y mantenimiento del sistema, previniendo así averías y haciendo un uso óptimo durante su vida útil. Además de prever su obsolescencia para posibles actualizaciones.

4.3.1 Ciclo de vida.

El *software* utilizado nos proporciona una de las tecnologías más punteras de la actualidad, pero por el contrario nos perjudica su rápido avance ya que hay que estar al tanto de las actualizaciones para no perderse ninguna de sus ventajas.

Debido a que posee menor material *hardware*, es más fácil ir renovando el sistema con actualizaciones tanto en el sistema operativo del ordenador para su mejor rendimiento, como con los diferentes módulos de análisis de la señal para la obtención de más parámetros.

Para esta tecnología se estima una vida útil de unos 7 años, basándose en la duración de los programas *software* y el avance en la modulación de las señales, para

volver a obtener otro sistema que se adapte a los avances en la captación de distintas señales.

4.3.2 Mantenimiento y reparaciones.

Para mantener los materiales se acordará con las empresas que estas suministren los materiales necesarios para cambio de piezas o que hagan las reparaciones necesarias de los materiales averiados. A su vez, el soporte para las actualizaciones *software* previamente mencionadas, es responsabilidad de la empresa proveedora, impartiendo a su vez cursos de instrucción a los operadores para que entiendan el sistema con el que trabajan y conozcan todas sus posibles funcionalidades.

4.3.3 Uso y especialización.

Debido a que las actualizaciones del *software* y el uso del sistema van a ser llevados a cabo por operadores de la unidad, es necesario que estos tengan conocimientos previos informáticos y en Guerra electrónica.

Por ello se pretende que estos operarios dediquen su labor exclusivamente para este sistema, dotando un pelotón de transmisiones, previa formación en programación y uso de sistemas y *software* SDR, para la operación de este sensor pasivo. Se muestra en el Anexo E un estudio de la viabilidad de destinar personal de la unidad a esta labor en exclusiva mediante un análisis DAFO. De esta forma se utilizaría el sensor con todas sus capacidades, y se garantizaría que se actualicen los programas utilizados por expertos en la materia.

4.4 Análisis de costes.

La meta que persigue el presente apartado es determinar la compra del sistema, presentando el presupuesto en euros y propuesto al REW 31.

4.4.1 Costes de material.

Se muestran los costes de adquisición de los productos del sistema en la Tabla 7. El coste total del proyecto se acerca a los 100.000€²⁵. Donde el coste del módulo SDR es orientativo, y ha sido obtenido de presupuestos vía sistemas con las mismas prestaciones de la empresa Mercury Systems [16]. Esto es debido a las políticas internas de algunas empresas de no informar del precio de los sistemas de altas prestaciones.

²⁵ En el Anexo G también se ve el porcentaje de costes en cada material, donde los aparatos electrónicos que reciben y tratan la señal ocupan gran parte del presupuesto.

MATERIAL	UNIDADES	DISPONIBILIDAD	PVP UNITARIO	PVP TOTAL
ANTENA				
R&S AC005 Omnidireccional	1	NO	29.990 €	29.990 €
R&S AC008 direccional	1	NO	14.200 €	14.200 €
AMPLIFICADOR				
MS AML0118L2512	2	NO	17.332 €	34.664 €
FILTRO RADIOFRECUENCIA				
PE8718	2	NO	365 €	730 €
MÓDULO SDR				
RFM-1802RF with ADV-1800S	1	NO	18.400 €	18.400 €
ORDENADOR				
Asus GL552VW	1	NO	950 €	950 €
SERVIDOR DE DATOS				
HP PROLIANT ML110 GEN9	1	NO	800 €	800 €
Disco magnético Samsung	1	SI	- €	- €
CONECTORES HARDWARE DE RF				
Cableados con conectores	9	SI	- €	- €
VENTILADOR/CALEFACTOR				
Rowenta Calefactor Ventilador	1	NO	179 €	179 €
GRUPO ELECTRÓGENO				
GE-6000 DES/GS-L	1	SI	- €	- €
MÁSTIL				
Mástil de antena HC	1	SI	- €	- €
PRESUPUESTO TOTAL MATERIALES				99.913 €

Tabla 7 Presupuestos del sistema sensor pasivo.

Fuente: Elaboración a partir de los datos recopilados en [12],[13],[14],[15].

Es de tener en cuenta que los procesos de adquisición y negociación de la Ley 9/2017 de 8 de noviembre de Contratos del Sector Público [19], el precio tiende a reducirse. Ejemplos son los equipos ya adquiridos por el REW 31, como el grupo electrógeno, los mástiles, el cableado y distintos tipos de conectores y el disco magnético de almacenamiento. Dispositivos que ya se tienen en dotación y estarían disponibles para su uso en este sistema, y supondrían un coste nulo en el desarrollo del proyecto.

4.4.2 Costes de personal.

Se precisará que el personal interno del regimiento, encuadrado en la Cía de No-TLC del BEW I/31 disponga del personal con nociones en este ámbito que vaya a operar con este sistema. Poniendo a prueba el nuevo sensor pasivo y elaborando un informe de su funcionamiento. Para ello se notificará al Teniente Coronel jefe del BEW I/31 que estos operarios deben de haber adquirido cursos y conocimientos en SDR, para su posterior dedicación exclusiva a este sistema y así aprovechar todas las funcionalidades que ofrece.

4.5 Análisis de riesgos.

A continuación, se van a realizar un análisis de los riesgos asumidos con la implementación de este sensor en el REW 31, así como en el proceso de desarrollo, explicando su causa y el plan de contingencia impuesto para dar solución al problema o mitigar la aparición del mismo.

En el siguiente listado se detallan los riesgos con un nivel mayor de probabilidad de ocurrencia para el proyecto y cuyo impacto sería más notable para el mismo. En el

Anexo F, se encuentra un análisis más detallado de todos los riesgos identificados y tratados según su probabilidad y gravedad.

- **Menor potencia de recepción:** La antena tiene un límite de alcance y de ganancia para recibir las señales, y cuanto mayor sea este, en más situaciones este sensor podría ser útil al subsistema de no telecomunicaciones.

Para aumentar el nivel de potencia de la señal recibida por el ruido, además de implementar un filtro de paso alto para acotar el espectro a analizar, se ha de incluir un amplificador de señal con la mayor calidad posible. Ya que este suceso es muy probable que ocurra y su impacto sería considerable.

- **Fallo en el equipo por las condiciones atmosféricas:** Las condiciones atmosféricas adversas, los desniveles del terreno y la distancia afectan al espectro electromagnético. Debemos tener en consideración esto para prever los entornos de trabajo y conocer las limitaciones de captación efectiva según el estado del clima (con lluvia, nieve o niebla se produce mayor absorción de la energía de la onda por parte de la atmósfera, se desvanece la onda y es menos probable su captación) [20]. Para ello se ha de optimizar la orientación de la antena y el buen estado de los equipos de cara a estas condiciones. Por ello se coloca un radomo²⁶ en las antenas para reducir la probabilidad de este suceso, al igual que en las antenas de los demás sensores ya implantados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el frío y calor para los equipos de tratamiento de la señal que están dentro del vehículo, ya que se someterá a las condiciones más adversas. Por lo que habrá que tener en cuenta ventilación o calefacción para los equipos y conocer las limitaciones técnicas de temperatura y humedad.

- **Obsolescencia temporal del *software*:** Es importante tener en cuenta que este sistema definido por *software* está mejorándose anualmente y está creciendo de forma exponencial. Lo cual es positivo para su adquisición y así aprovechar sus ventajas en un futuro, pero también hay que tener en cuenta si es viable su adquisición para el tiempo que va a ser utilizado hasta que se quede obsoleto, teniendo en cuenta también sus costes de mantenimiento cada año. Se ha llevado a cabo un estudio de todo esto en el apartado 4.3, para así saber su utilidad y cuando será necesario actualizarse.

Para realizar este análisis se han tenido en cuenta dos factores que determinan el grado de atención o importancia que hay que dar para establecer planes de contingencia. El impacto que provocaría si se produjese, y la probabilidad de aparición. Ambos divididos en alto, medio y bajo, según sea Low, Medium, High o 1, 2, 3. Con estos dos

²⁶ Un radomo es un elemento de telecomunicaciones utilizado para recubrir la antena para protegerla, sin que afecte por ello a sus propiedades electromagnéticas.

valores se han clasificado los ocho riesgos analizados como podemos ver en las Tablas 8 y 9 que se muestra a continuación.

CLASE DE RIESGO	RIESGO
MUY ALTO	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS
ALTO	MENOR POTENCIA DE RECEPCIÓN RIESGO DE OBSOLESCENCIA
MEDIO	ERROR EN INTEROPERATIVIDAD CON GESTA INCAPACIDAD DEL MATERIAL EN EL VEHÍCULO MENORES CAPACIDADES DEL SENSOR MENOR VELOCIDAD DE CONVERSIÓN Y PROCESADO
BAJO	FALTA DE INSTRUCCIÓN DEL PERSONAL
Total	8

Tabla 8 Clasificación de riesgos.
Fuente: Elaboración propia.

RIESGO	3	1	1	1
	2		1	1
	1	1	1	1
		L (Bajo)	M (Medio)	H (Alto)
IMPACTO				

Tabla 9 Matriz de riesgos.
Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que el riesgo alto (fallo por condiciones atmosféricas), es el que más debería preocuparnos, seguido por los otros dos mencionados anteriormente. Otros riesgos de carácter medio o bajo, no presentan gran preocupación ya que se pueden tomar acciones que eviten su ocurrencia, así como subsanar fácilmente sus consecuencias.

5 Conclusiones del proyecto.

A lo largo de este TFG se ha analizado la viabilidad y los requisitos para implantar un sensor pasivo definido por *software* en el Subsistema de No Telecomunicaciones de EW, para satisfacer las necesidades de localización goniométrica e interceptación de emisores complementando al sistema actual. El desarrollo de este dispositivo se ha determinado viable gracias al análisis del funcionamiento de este tipo de sistemas por *software*, determinando el diseño del sistema con los materiales y programas *software* necesarios para tratar la señal y analizar sus parámetros.

Para conseguir su correcta implementación se han llevado a cabo pruebas con dispositivos de menores prestaciones definidos por *software* disponibles en la unidad, se ha determinado su coste de adquisición en consideración con el sistema actual. Con el que se ha estudiado su interoperabilidad para disponer de los datos de las emisiones interceptadas en el sistema actual en el mismo formato que el sistema táctico GESTA, para lo que se ha determinado las acciones que implementar en la pasarela.

El sistema estudiado, aparte de ser rentable, es de gran utilidad para la unidad, siendo su uso versátil y flexible. Con altas funcionalidades de análisis de señales y facilidad para tratar diferentes bandas de frecuencias del espectro electromagnético solo cambiando los materiales *hardware*. Cuyos programas y módulos de *software* son capaces de tratar la señal con cada vez más utilidades y buenos resultados. Introduciendo en el REW 31 una tecnología innovadora y una puerta hacia futuras posibilidades en esta etapa de transición del sistema actual de captación de emisores.

Por lo tanto, se pone de relevancia el gran beneficio y mejora táctica que supondría la implementación de este sistema para la Cía. de No TLC de EW, y la importancia de este para el BEW I/31, al poder utilizarse como a las demás estaciones del sistema GESTA. Actualmente se está estudiando incluir dispositivos SDR para distintos fines de recepción y emisión, debido a su rápido crecimiento y el desarrollo de arquitecturas de compatibilidad para los diferentes dispositivos, por lo que también será posible establecer compatibilidades entre diferentes sistemas y a su vez distintos ejércitos.

5.1 Líneas futuras de trabajo.

Este sensor pasivo puede ser utilizado, realizando la misma función que la EB, tanto para SNT como para ST, cubriendo un ancho del espectro electromagnético considerable. Utilizando varios se puede conseguir una base goniométrica adecuada con localizaciones muy exactas y el rápido transporte de este sistema por su reducido equipamiento. Para ello queda pendiente la creación de un canal de envío de la información hacia la EC y la encriptación de este canal.

Otra de las posibles líneas de acción es la especialización del personal en el manejo de las radios definidas por *software* mediante cursos de instrucción y adiestramiento, o la creación de una unidad especializada para este sistema con muchas pretensiones futuras.


6 Referencias.

- [1] REW 31, “Curso de operación SNT,” 2016.
- [2] INDRA, “Cursos de operación y mantenimiento Sistema GESTA,” 2008.
- [3] REW 31, “Curso EW estación EDC,” 2010.
- [4] C. Abadía, “Introducción a la RBA,” 2018.
- [5] Ministerio de Defensa and REW 32, “Curso de análisis de señales radar,” 2011.
- [6] F. J. C. Quirós and J. P. Bermúdez, *Radios definidas por software*. 2018.
- [7] A. Sanchez Lakehal, “La radio definida por software: Recepción de las comunicaciones Tierra-Aire dentro de la banda aeronáutica,” 2015.
- [8] RTL-SDR, “The big list of RTL-SDR supported software,» RTL-SDR,” 2014. [Online]. Available: <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [9] R. X. Terán Ramiro and L. J. Andrade Pazmiño, “Diseño y construcción de un sistema multi-recepción para televisión satelital aplicando varios receptores (LNB) sobre un receptor único,” 2012.
- [10] C. J. M. . López, *Sistemas de transmisión. Antenas*, AGM-TM-403. 2018.
- [11] S. García and REW 31, *Técnicas de Goniometría en Sistemas de No Telecomunicaciones*. 2004.
- [12] C. J. M. . López, *Radiocomunicación*, AGM-TM-403. 2018.
- [13] Rhode & Schwarz, “Rhode & Schwarz Sector aeroespacial defensa y ciberseguridad,” 2019. [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/es/inicio_48230.html. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [14] Mercury Systems, “Mercury systems RF & Microwave Amplifiers,” 2019. [Online]. Available: <https://www.mrcy.com/rfmicrowave-products/amplifiers/low-noise-amplifiers/#productsTable>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [15] Pasternack, “Pasternack highpass filters,” 2019. [Online]. Available: <https://www.pasternack.com/5-section-high-pass-filter-300-mhz-1000-mhz-passband-700-mhz-pe8718-p.aspx>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [16] Mercury Systems, “echotek-rfm-1802rf,” 2014. [Online]. Available: <https://www.mrcy.com/siteassets/product-datasheets/echotek-series/echotek-rfm-1802rf.pdf>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [17] N. May, “Lineas de distribución,” 2012. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/Maynorporoj/cable-coaxial-11542255>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [18] C. Date, “Bases de datos distribuidas,” *Introducción a las bases de datos*. 2001.
- [19] Hacienda, “Expediente 2093417022800,” in *Jefatura de asuntos económicos del Cuartel General terrestre de Alta Disponibilidad*, 2017.

- [20] EcuRed, “Comunicación vía microondas,” 2019. [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Comunicación_vía_microondas#Desvanecimiento. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [21] INDRA, “Descripción de la base de datos,” 2005.
- [22] Ministerio de Defensa, “Fichero de los centros de reconocimiento de conductores del MADOC,” 2013. [Online]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/07/26/pdfs/BOE-A-2013-8166.pdf>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [23] El Confidencial Digital, “Defensa invierte 2,4 millones en su sistema de Guerra Electrónica para interceptar y perturbar comunicaciones enemigas,” 2014. [Online]. Available: <https://www.elconfidencialdigital.com/articulo/defensa/Defensa-Guerra-Electronica-interceptar-comunicaciones/20140430122006072780.html>. [Accessed: 13-Sep-2019].
- [24] InfoDefensa, “Indra obtiene un contrato de mantenimiento de estaciones de Guerra Electrónica,” 2014. [Online]. Available: <http://www.infodefensa.com/es/2014/01/13/noticia-indra-obtiene-contrato-mantenimiento-estaciones-guerra-electronica.html>. [Accessed: 13-Sep-2019].
- [25] M. León, “La transformación digital aumenta las capacidades de las fuerzas armadas españolas,” 2018. [Online]. Available: <https://www.infodefensa.com/es/2018/01/11/opinion-transformacion-digital-aumenta-capacidades-operativas-fuerzas-armadas-espanolas.php>. [Accessed: 16-Oct-2019].
- [26] T. C. Alcaide, “Introducción a la virtualización,” 2018.

Anexo A: Planificación del Proyecto.

A.1. Project Charter.



Centro Universitario

de la Defensa Zaragoza

Trabajo de fin de grado

Título: Implementación de un sensor pasivo definido por software en la banda de frecuencias radar				Fecha: 2/09/2019	
Project Leader: Jaime Álvarez Yuste				Localización: El Pardo, Madrid	
Recursos personal: Equipo de Proyecto(Alumno y tutores), Cía de No Telecomunicaciones del BEW I					
Equipo de proyecto: Jaime Álvarez Yuste					
Stakeholders: Regimiento de Guerra Electrónica 31, Mando de Transmisiones, Empresas de Telecomunicaciones, Otras organizaciones con recusus de telecomunicaciones, Academia General Militar					
Descripción general del proyecto:					
Conseguir la correcta implementación de un sensor pasivo definido por software en la banda de frecuencias radar para poder dotar de otra estación sensora a la unidad.					
Business case:					
El crecimiento exponencial de la radio asistida por software así como la amplia gama de posibilidades que esta aporta al trabajar con el espectro electromagnetico hacen de este método una herramienta de apoyo para los sistemas de recepción de señal para el MATRANS. Además de optar a la compañía de No Telecomunicaciones del Batallón de Guerra Electrónica I/31 de una estación receptora de frecuencias en banda radar, sumada a las dos estaciones sensoras que ya dispone, para poder contar con de una buena base goniométrica para la localización de equipos.					
Objetivos y requisitos del proyecto:					
Implementar un sensor pasivo definido mediante SDR(Radio Definida por Software) que reciba las frecuencias de la banda radar y pueda ser compatible con el sistema GESTA, así dotar de otro sensor pasivo para el subsistema EW de no Telecomunicaciones con un coste menor que los sistemas actuales. Además se realizará una comparativa de rendimiento(detección de señales con precisión)/coste entre ambos sistemas, un analisis de los posibles equipos que se pueden utilizar para este sensor y un análisis de los riesgos por la pérdida de capacidades de este sistema.					
Entregables e hitos:	Fecha inicio	Fecha fin		Fecha inicio	Fecha fin
Proyecto:	02/09/2019	04/11/2019	M4 Comparativa de diferentes equipos con los actuales	24/09/2019	01/10/2019
M1 Definición de objetivos, alcance y descripción de la tarea	02/09/2019	15/09/2019	M5 Adquisición de equipos y programación del sistema	01/10/2019	10/10/2019
M2 Propuesta de Proyecto	02/09/2019	15/09/2019	M6 Análisis de los riesgos	10/10/2019	21/11/2019
M3 Estudio del software y equipos requeridos	09/09/2019	24/09/2019	M7 Conclusiones	21/10/2019	03/11/2019
Riesgos de alto nivel:					
A pesar de poder montar una antena receptora a un coste mucho menor que los equipos actuales, los principales errores que puede dar este sistema pueden provocar una pérdida de recepcion por condiciones atmosféricas, que la potencia sea menor y no se pueda analizar bien la señal o que tarde más tiempo en realizar estos procesos de demodulación, cuantificación, etc. Así analizar la pérdida de capacidades que tendría este sistema menos costoso.					

Tabla 10 Project Charter.

A.2. Planificación del proyecto.

Nombre proyecto: Implementacion de un sensor pasivo definido por software en la banda de frecuencias radar				Fecha: 09/09/2019	
Project manager: Jaime Álvarez Yuste					
ID	Nombre tarea	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin	
1	Project Kick-off	Definición de objetivos, alcance y tareas del proyecto	02/09/2019	04/09/2019	
2	Propuesta de proyecto	Propuesta definitiva para el trabajo de Fin de Grado	00/01/1900	02/09/2019	
3	Estudio de Software y equipos requeridos	Busqueda de información de metodología y posibilidades del ámbito	09/09/2019	24/09/2019	
3.1	Busqueda de información sobre sistemas y carencias actuales	Informe acaerca del equipo actual, problemas, capacidaes y funcionamiento	09/09/2019	16/09/2019	
3.2	Busqueda de información sobre SDR y funcionamiento	información sobre tecnologías software y como usarlas	09/09/2019	16/09/2019	
3.3	Busqueda de información sobre el subsistema GESTA	Información sobre el sistema y protocolos con el que trabajan los equipos actuales	09/09/2019	16/09/2019	
3.4	Busqueda de información sobre antenas y posibles problemas	Información y breve estudio de la antena multivanda a adquirir	16/09/2019	24/09/2019	
3.5	Busqueda de información sobre equipos que compenen el subsistema antena	Estudio de los equipos hardware y software que definiene el sensor pasivo	16/09/2019	24/09/2019	
3.6	Análisis de posibles equipos a utilizar	Analisis de estos equipos necesarios y su montaje	16/09/2019	24/09/2019	
3.7	Estudio del estado del arte de SDR	información sobre los avances y uso del SDR actual	19/09/2019	24/09/2019	
4	Comparativa de diferentes equipos con los actuales	Descripción de las diferencias, ventajas e inconvenientes	25/09/2019	01/10/2019	
4.1	Recopilación de datos técnicos de GESTA	Recogida de información de bases de datos, protocolo, etc.	25/09/2019	27/09/2019	
4.2	Análisis de las posibilidades de SDR y software	Dentro de los diferentes dispositivos SDR optenentr el mejor y trabajar con él.	25/09/2019	27/09/2019	
4.3	Comparativa y elección de equipos Hardware	Estudio de la obtención de antena, conversores, amplififcador, etc.	28/09/2019	01/10/2019	
5	Adquisición de los equipos y programación del sistema	Obtención de los equipos y programar la arquitectura software	02/10/2019	11/10/2019	
5.1	Comparación de posibles software y compatibilidad	Recogida de datos de GESTA y adapración del software SDR al sistema	02/10/2019	04/10/2019	
5.2	Analisis matemático de tratamiento de la señal	Estudio del mezclado y procesamineto de la señal con el fin de optimizar su funcionamiento	02/10/2019	04/10/2019	
5.3	Programar el sistema para compatibilidad con GESTA	Con el uso de las Bases de datos de Oracle y y el servidor para almacenar la información de las tramas de datos	05/10/2019	08/10/2019	
5.4	Prueba de funcionamiento y recepción	Prueba para analizar el funcionamiento del sistema así como sus capacidades	09/10/2019	09/10/2019	
5.5	Corrección de posibles fallos y errores	Corrección de estos errores de las primrras pruebas de funcionamiento	10/10/2019	11/10/2019	
6	Análisis de riesgos	Descripción de los riesgos existentes y los costes asociados a las herraminetas propuestas	14/10/2019	22/11/2019	
6.1	Identificación de riesgos	Identiffcación de los riesgos existentes a partir de las tareas descritas y los posibles fallos de funcionamineto	14/10/2019	15/10/2019	
6.2	Análisis de costes de los riesgos previstos	Analizar los costes y el impacto de estos riesgos con la probabilidad de suceso	16/10/2019	18/10/2019	
6.3	Desarrollo de planes de contingencia	Desarrollar un plan para hacer frente a estos posibles sucesos y miytigar los efectos	21/10/2019	22/10/2019	
7	Lineas de acción futura	Debido a su constante cambio, se establece un programa de revisión e innovación para dotarlo de avances	23/10/2019	03/11/2019	
7.1	Desarrollo de un plan de revisión	Plan pelódico para efectuar cambios sobre la metodolgia y el sistema	23/10/2019	04/11/2019	
7.2	Definir acción para la mejorar el rendimiento manteniendo costes	Para mejorar este sensor se establecen planes de mantenimineto y desarrollo	23/10/2019	04/11/2019	
8	Conclusiones del proyecto	Conclusiones resultantes de la elaboración de este sensor y de su implementación en la unidad.	23/10/2019	04/11/2019	

Tabla 11 Estructura de Desglose de trabajo.

A.3. Diagrama de Gantt.

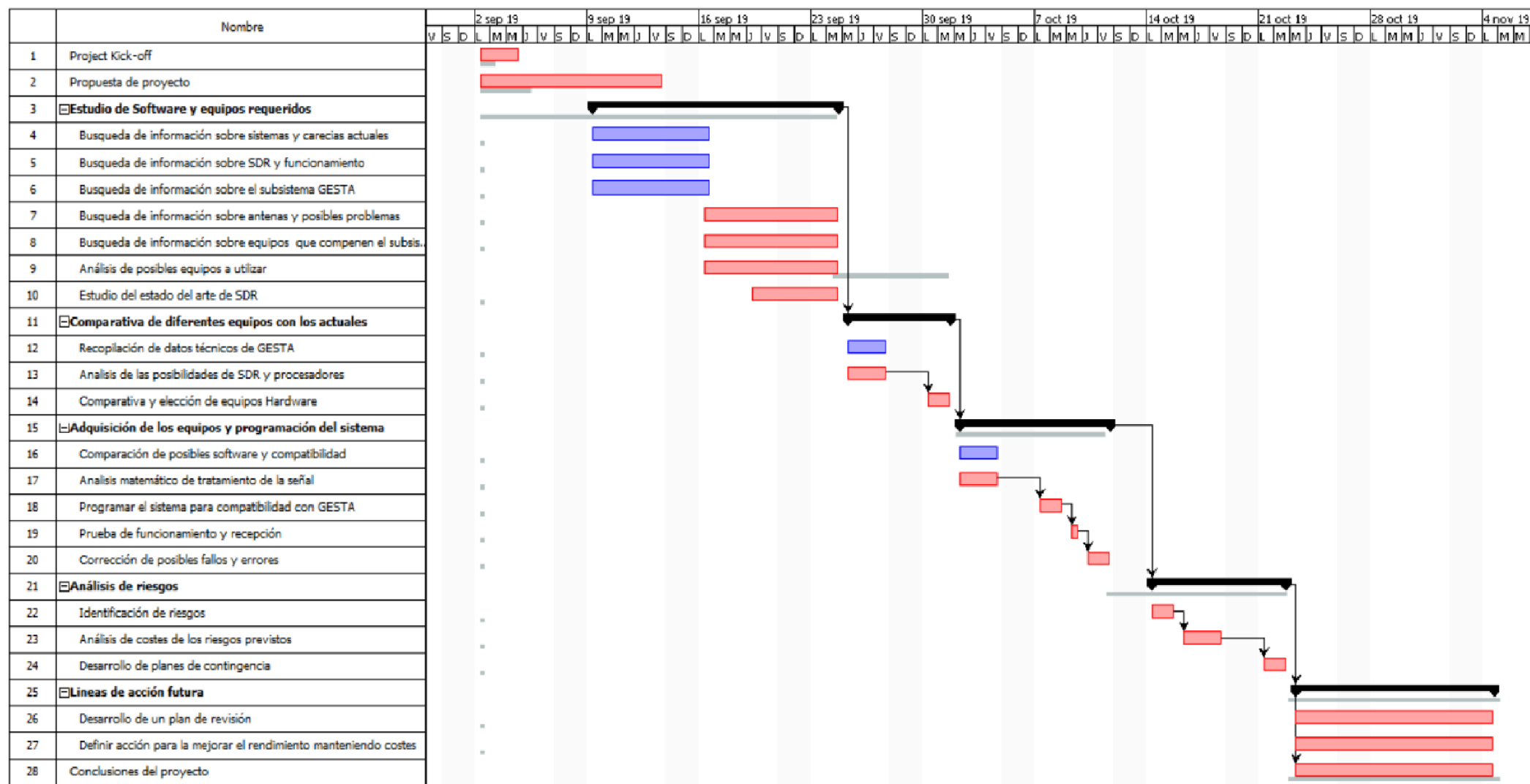


Figura 17 Diagrama de Gantt de la elaboración del proyecto.

Anexo B: Pruebas con el programa SDRSharp para procesar y analizar la señal.

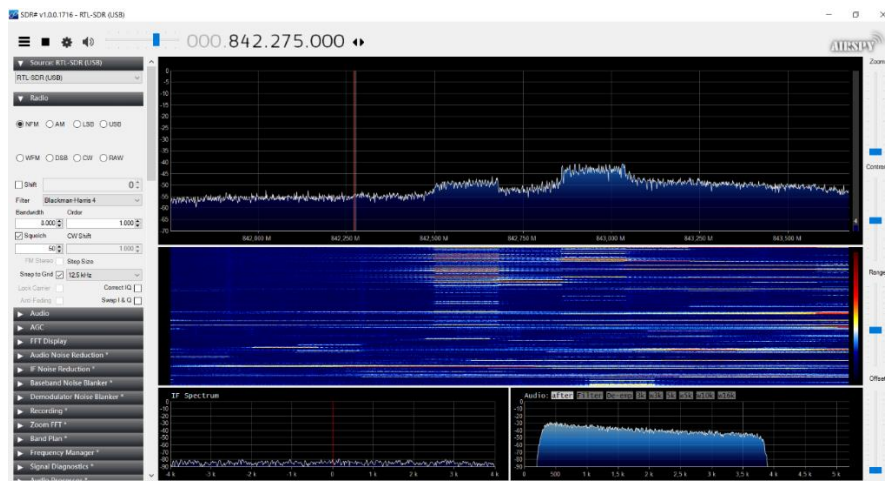


Figura 18 Programa SDRsharp para procesar y analizar la señal.

Fuente: Propio ordenador con la realización de pruebas con el dispositivo SDR NooElec.

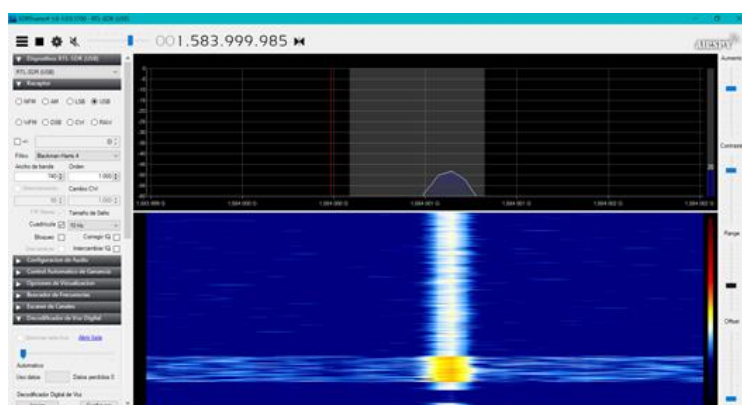


Figura 19 Programa SDRSharp para la interceptación de una señal en banda radar.

Fuente: Propio ordenador con la realización de pruebas con el dispositivo SDR NooElec.

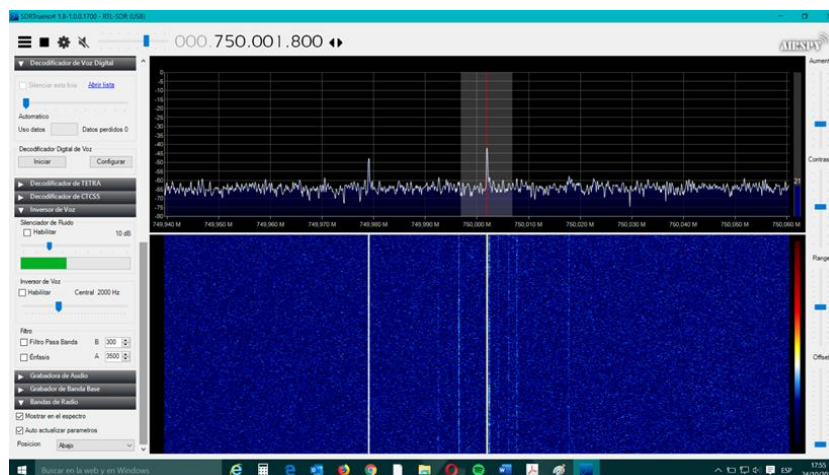


Figura 20 Programa SDRSharp para la detección de una portadora de señal.

Fuente: Propio ordenador con la realización de pruebas con el dispositivo SDR NooElec.

Anexo C: EB y su distribución de equipos.

C.1. Fotografía de la EB.



Figura 21 Imagen de la EB.
Fuente: [2].

C.2. Distribución del material físico interno.

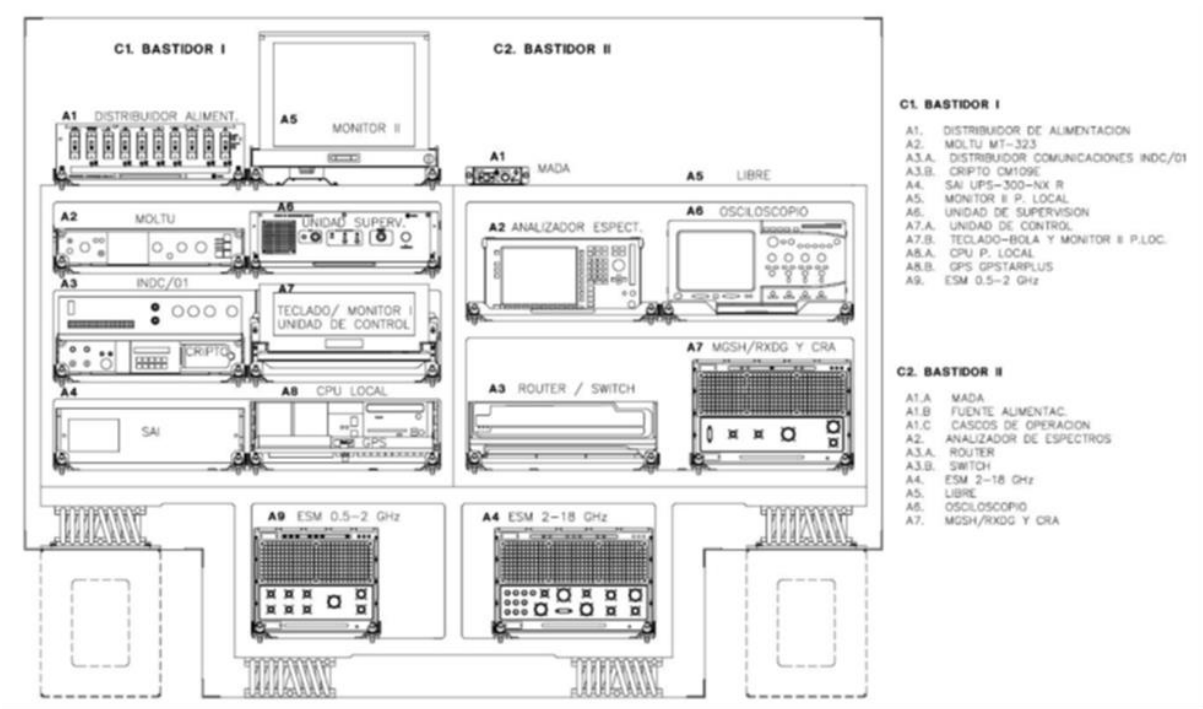


Figura 22 Distribución de equipos internos de la EB.
Fuente: [2].

C.3. Conexiones lógicas entre los materiales de la EB.

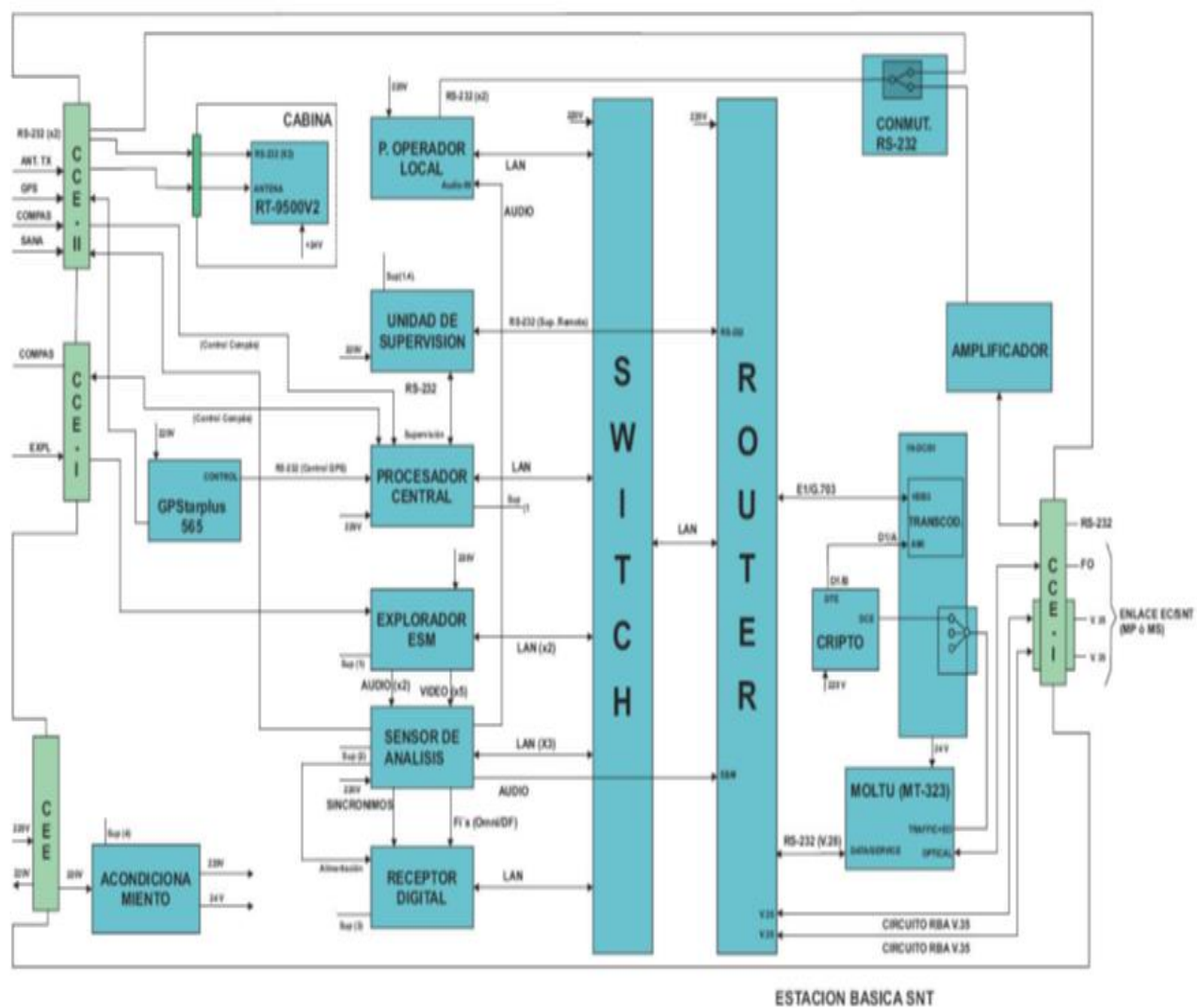


Figura 23 Conexionado lógico de los elementos de la EB.

Fuente: [2].

Anexo D: Especificaciones técnicas del dispositivo SDR.


Specifications	
RF	
Frequency tuning range	0.5-18.0 GHz
Tuning resolution	3 Hz
Tuning speed	3µs
Image rejection	70 dB min
Noise figure	13 dB typ, 15 dB max
Input attenuator	0-15 in 1-dB steps
Input third-order intercept	+7 dBm typ, 0 dBm min
Input 1 dB compression	-5 dBm typ, -10 dBm min
LO radiation	-80 dBm max
Input VSWR	2:1 typ, 2.5:1 max
Maximum RF, no damage	+20 dBm
Internally generated spurious	-80 dBm max
Linear dynamic range	90 dB at 1 MHz BW
Single-tone dynamic range	60 dBc typ
Pre-selection	9 band switched filter
IF rejection	70 dB min
Phase noise typical	
10 Hz	-54 dBc/Hz
100 Hz	-86 dBc/Hz
1 KHz	-96 dBc/Hz
10 KHz	-101 dBc/Hz
100 KHz	-119 dBc/Hz
1 MHz	-130 dBc/Hz
Note: Using internal OCXO	
Internal Reference Frequency Stability	
Temperature stability	±5 e-8
Aging	±5 e-8 per year
External Reference	
Ext. reference frequency	10 or 100 MHz
Blanking/response	TTL/To -20 dBc, 200 ns
Wideband IF	
Frequency	1 GHz
Bandwidth	500 MHz min
Gain	22.5 dB ±2 dB
Passband ripple	±1.5 dB across 100% of the IF BW
Group delay	5 ns across center 80% of the IF BW
Spectrum sense	Varies with tune frequency
Narrowband IF	
Frequency	160 MHz
Bandwidth	80 MHz min
Gain	24.5 dB ±2 dB
Passband ripple	±1.5 dB across 100% of the IF BW
Group delay	11 ns across center 80% of the IF BW
BW	
Spectrum sense	Non-inverted
IF output attenuator	0.30 dB in 1 dB steps
Packaging	
Format/size	6U VME
Weight	< 3.2 kg
Power	<70W
I/O and other RF connectors	SMA/SMC throughout
Environmental	
Temperature	
Operating	0°C to 55°C
Storage	-40°C to +70°C
Convection-cooled	Consult factory for rugged options
BIT	
Phase-lock status, power supply status, temperature	
The goods and services contained in this data sheet are controlled under the International Traffic in Arms Regulations (ITAR) and may not be exported to a foreign person, either in the U.S. or abroad without a license or exemption from the U.S. Department of State.	
	
EchoCore, Echotek, Ensemble, Race++ and MultiCore Plus are registered trademarks and Air Flow-By, Liquid Flow-By AFB, Innovation That Matters, Mercury Systems, POET, SecureConfig and StreamDirect are trademarks of Mercury Systems, Inc. Other product and company names mentioned may be trademarks and/or registered trademarks of their respective holders. Mercury Systems, Inc. believes this information is accurate as of its publication date and is not responsible for any inadvertent errors. The information contained herein is subject to change without notice.	
Copyright © 2014 Mercury Systems, Inc. 2147.06E-0714-DS-echo-rfm1802rf	

Figura 24 Especificaciones técnicas del sistema modular del SDR.
Fuente: [16].

Anexo E: Atributos de la base de datos de GESTA para los campos interceptaciones y emisores.

TABLA DE INTERCEPTACIONES									
Nombre	Tipo de dato	NULL ?	Comentario	¿ Es PK ? (Clave Primaria)	¿ Es FK ? (Clave Foranea)	Nombre	Tipo de dato	NULL ?	Comentario
ID_INTERCEP	NUMBER(14)	NOT NULL	Numero identificador de interceptacion	Yes	No	OBJ_INTER	RAW(500)	NULL	Informacion extendida , en binario, de los datos de la interceptacion.
ID_MODO	NUMBER(14)	NULL	Identificador del modo asociado	No	Yes				Contiene, en binario: DATOS INTERCEPTACION EXTENDIDA idIntercept : NUMERO INTERCEPTACION promediada : INDICADOR DE PROMEDIADA (S/N)
M_E_CI	NUMBER(5)	NOT NULL	Codigo de entidad que proporciona la informacion. La asignacion de codigos de tipo "CI" seguirán las reglas indicadas.	Yes	Yes				ID : INDICADOR DE REGISTRO EN BD (S/N) completa : INDICADOR DE INTERCEPTACION COMPLETA (S/N) alarma : INDICADOR DE ALARMA (S/N) alertaSubmarina : INDICADOR DE ALERTA SUBMARINA (S/N)
ID_EMITOR	NUMBER(14)	NULL	Identificador del emisor asociado	No	Yes				tiposenal : TIPO DE SEÑAL
ID_MISION	NUMBER(14)	NOT NULL	Identificador de mision en la que se genera la informacion	Yes	Yes				DESCONOCIDA 0 CW 1 PULSADA 2 CWOK 3 FMCW 4 FMCWOK 5
OBJ_INTER_REC	RAW(60)	NULL	Informacion basica, en binario, de los datos de la interceptacion. Contiene, en binario: DATOS INTERCEPTACION REDUCIDA: subconjunto de informaciones de la informacion extendida (ver significado en campo OBJ_INTER). freq : frecuencia pri : pri fechaHora : fechaHora longitud : longitud latitud : latitud aca : aca datosProcedencia : datosProcedencia arp : arp calidadPA : calidadPA amplitud : amplitud estado : estado notFree : notFree notPri : notPri notPe : notPe notArp : notArp tecnicCompresion : tecnicCompresion BARKER_2 'A' BARKER_3 'B' BARKER_4 'C' BARKER_5 'D' BARKER_7 'E' BARKER_11 'F' BARKER_13 'G' ENVOLVENTE 'H' ESCALON_A_D 'T' ESCALON_ASC 'J' ESCALON_D_A 'K' ESCALON_DES 'L' FRANK 'M' GOLAY 'N' HUFFMAN 'O' LINEAL_A_D 'P' LINEAL_ASC 'Q' LINEAL_D_A 'R' LINEAL_DES 'S' NO_LINEAL 'T' PSEUDORASCO 'U' PSEUDOALEATORIA 'V' P1 'W' P2 'X' P3 'Y' P4 'Z' DESCONOCIDO 'Y' NULO 'Y' ctm : ctm calidadAOA : calidadAOA	No	No				freqGrupo : Frecuencia de grupo. Dado en Mhz devGrupo : Desviación de la frecuencia de grupo. Dado en Mhz notFree : Numero de intervalos de frecuencia validos lista de freqs : Valores de frecuencia en Mhz lista de devs : Valores de desviacion de frecuencia en Mhz calidadFrecuencia : Calidad en la medida de la frecuencia. Rango de 0.10. NotacionFree : Notacion de frecuencia FIA 1 AGIL 2 JUMP 3 STEP 4 SWEEP 5 COMPLEJA 6 DESCONOCIDA 7 FMOP 8 SWITCH 9 LeyFree : Ley que sigue la frecuencia TRIANGULAR 1 SINUSOIDAL 2 NO_VARIACION 3 DIENTE_SIERRA 4 arp : ARP (mseg) devArp : DESVIACION ARP (mseg) enchofalta : Ancho de haz en el plano del scan (Grados). Precision de 0.1 grado. calidad : Calidad de la medida NotacionArp : NOTACION DE ARP CIRCULAR 'A' SECTORIAL_HOR 'BI' 'B' SECTORIAL_VER 'BI' 'C' LOCK_ON 'D' IRREGULAR 'E' CONICA 'F' ALTERNANCIA_LOB 'O' MONOPULSO 'H' COMPLEJO 'I' RASTER 'J' ESPIRAL 'K' HELICOIDAL 'L' CIRCULAR_VER 'M' CIRCULAR_CONICO 'N' SECTORIAL_CONICO 'O' AGILIDAD_SENAL 'P' PASIVO 'Q' COMBINACIONES 'R' SECTORIAL_VER_UNI 'S' SECTORIAL_HOR_UNI 'T' SECTORIAL_UNI 'U' SECTORIAL_BI 'V' NO_MIDIDO 'Z' priGrupo : PRI de grupo en microsegundos devGrupo : Desviacion del PRI de grupo en microsegundos notPri : Numero de valores discretos de PRI lista de pris : Valores de PRI en microsegundos lista de devs : Valores de desviaciones de PRI en microsegundos calidad : Calidad en la medida del PRI pulsosPorGrupo : Numero de pulsos por grupo. Para tipo de PRI GRUPO DE PULSOS numerosSaltosFase : Numero de pulsos antes de un salto de fase. Para tipo de PRI SALTO DE FASE secuenciaSTO : Secuencia de los intervalos de PRI. Para tipo de PRI STAGGER notacionPRI : Notacion del PRI FID 1 JITTER 2 STAGGER 3 MODULADO 4 COMPLEJO 5 SWITCH 6 SALTO_DE_FASE 7 DOPPLER 8 PSEUDOALEATORIO 9 GRUPO_PULSOS 10 DESCONOCIDO 11 PRI_CW 12 LeyPri : Ley que sigue el PRI TRIANGULAR 1 SINUSOIDAL 2 NO_VARIACION 3 DIENTE_SIERRA 4 xtal : Frecuencia de cristal en Hz. Resolucion 0.1 Hz dXtal : Dispersion de la frecuencia de cristal en Hz. Resolucion 0.1 Hz pw : Pw (mseg) desviacionPW : DESVIACION PW (mseg) calidadPW : CALIDAD PW NotacionPw : NOTACION DE PW FID 1 DISPERSO 2 DESCONOCIDO 3 aoaAbsoluto : AOA ABSOLUTO (grados) devAoA : desviacion AOA (grados) aoaRelativo : Valor relativo de AOA en grados (respecto a la posicion 0 del sensor) aoaValido : indicador de AOA correcto elevation : Valor de elevacion en grados (-90 indica un valor no calculado) calidad : calidad de AOA horaCreacion : F/H CREACION CTM : CODIGO MODULACION (segun dominio NyP) posicionSensor : LATITUD LONGITUD DE ORIGEN DE INTERCEPTACION orientacionSensor : RUMBO DE SENSOR (grados) datosProcedencia : PROCEDENCIA DE INTERCEPTACION. Codificacion por BITS (GESTA) Combinacion (SENSOR, ESTACION BASE) SE bit 0 a 1 // S. Exploracion SA bit 1 a 1 // S. Analisis RD bit 2 a 1 // Rx Digital MAN bit 3 a 1 // Manual EB1 bit 6 a 1 // Estacion base SNT 1 EB2 bit 7 a 1 // Estacion base SNT 2 EB3 bit 8 a 1 // Estacion base SNT 3 modulacion : INDICADOR DE MODULACION INTRAPULSO EN INTERCEPTACION (S/N) amplitudMaxima : AMPLITUD MAXIMA (dBm) amplitudMinima : AMPLITUD MINIMA (dBm) amplitudActual : AMPLITUD ACTUAL (dBm) calidadPA : Calidad en la medida del PA nroPulsos : NUMERO DE PULSOS (Numero de pulsos que han intervenido en el calculo de los parametros)

Tabla 12 Tabla de interceptaciones de la base de datos de GESTA para no comunicaciones.
Fuente: Tabla de GESTA en [21].

TABLA DE EMISORES					
Nombre	Tipo de dato	NULL ?	Comentario	¿ Es PK ? (Clave Primaria)	¿ Es FK ? (Clave Foranea)
ID_EMITOR	NUMBER(14)	NOT NULL	Clave numerica identificativa del emisor	Yes	No
ID_MISION	NUMBER(12)	NOT NULL	Identificador de mision en la que se genera la informacion	Yes	No
M_E_CI	NUMBER(5)	NOT NULL	Codigo de entidad que proporciona la información. La asignación de códigos de tipo "CI" seguirán las reglas indicadas en el apéndice D/1 de las NYP para los campos CI,CIO,CIS (según proceda) y su asignación dependerá del organismo regulador de dichas claves. Forma parte de la clave primaria que clasifica la información por misiones.	Yes	No
NOMBRE	VARCHAR2(40)	NULL	Nombre con el que se conoce el emisor	No	No
LATITUD	NUMBER(7,5)	NULL	Si es EMISOR NO LOCALIZADO: Latitud de la estación sensora de donde procede la última interceptación asociada al emisor. Si es EMISOR LOCALIZADO: Latitud del emisor localizado. En grados decimales con signo.	No	No
LONGITUD	NUMBER(8,5)	NULL	Si es EMISOR NO LOCALIZADO: Longitud de la estación sensora de donde procede la última interceptación asociada al emisor. Si es EMISOR LOCALIZADO: Longitud del emisor localizado. En grados decimales con signo.	No	No
EJE_X	NUMBER(5,1)	NULL	Valor del eje mayor de la elipse de error en Km.	No	No
EJE_Y	NUMBER(5,1)	NULL	Valor del eje menor de la elipse de error en Km.	No	No
ANG_EJE	NUMBER(4,1)	NULL	Si es EMISOR NO LOCALIZADO: Angulo de la última interceptación asociada al emisor (al no estar localizado no existe elipse de localización y no se puede medir ningún eje). Si es EMISOR LOCALIZADO: Orientación del eje mayor de la elipse En grados.	No	No
METODO_LOC	NUMBER(2)	NULL	Método de localización	No	No
CALIDAD_LOC	NUMBER(3)	NULL	Calidad de la localización. Entero de 0..10	No	No
HORA_INI_LOC	DATE	NULL	Hora de llegada de la primera interceptación usada para la localización	No	No
HORA_FIN_LOC	DATE	NULL	Hora de llegada de la ultima interceptación usada para la localización	No	No
FH_CREACION	DATE	NULL	Fecha/hora de creación del emisor	No	No
FH_PRIMERA_A	DATE	NULL	Fecha/hora llegada de la primera interceptación asociada al emisor	No	No
FH_ULTIMA_A	DATE	NULL	Fecha/hora de llegada de la ultima interceptación asociada al emisor	No	No
EST_ACTIVO	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de actividad del emisor	No	No
EST_MANUAL	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de creacion manual del emisor	No	No
EST_LOCALIZADO	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de la localización del emisor	No	No
EST_VALIDADO	VARCHAR2(1)	NULL	Indica que un emisor está validado por caracterización. 0 = No validado 1 = Validado	No	No
EST_ALARMA	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de emisor alarma	No	No
EST_MOVIL	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de emisor móvil	No	No
EST_VALIDADO_LOC	VARCHAR2(1)	NULL	Indica que un emisor está validado por localización: 0 = No validado 1 = Validado	No	No

Tabla 13 Tabla de emisores de la base de datos de GESTA para no comunicaciones.
Fuente: Tabla de GESTA en [21].

Anexo F: Análisis DAFO sobre la especialización en *software*.

A continuación, en la tabla 13, se elabora un DAFO con objeto de analizar la dedicación de personal de la unidad REW 31 específicamente para trabajar con el sistema SDR.

<p style="text-align: center;"><u>DEBILIDADES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor personal para otras actividades de la unidad. 	<p style="text-align: center;"><u>AMENAZAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérdida de hábito en otras nociones militares.
<p style="text-align: center;"><u>FORTALEZAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor conocimiento del sistema por parte del personal del mismo. ▪ Mayor rendimiento de la estación. ▪ Aumento del conocimiento de software por parte del personal de la estación. ▪ Menor personal para recibir cursos de especialización. ▪ La estación no deja de funcionar si no están disponibles los usuarios habituales porque hay más y se controla la disponibilidad de los mismos. ▪ Menos tareas para el resto de personal sobre este sensor por software. 	<p style="text-align: center;"><u>OPORTUNIDADES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Constante avance de las funcionalidades. ▪ Posibilidad de investigar más en este ámbito para mejoras. ▪ Aumentar el número de estaciones. ▪ Implementar mejores procedimientos y funcionalidades más estudiadas.

Tabla 14 Análisis DAFO sobre la especialización de los operarios.

Anexo G: Porcentaje invertido en equipos.

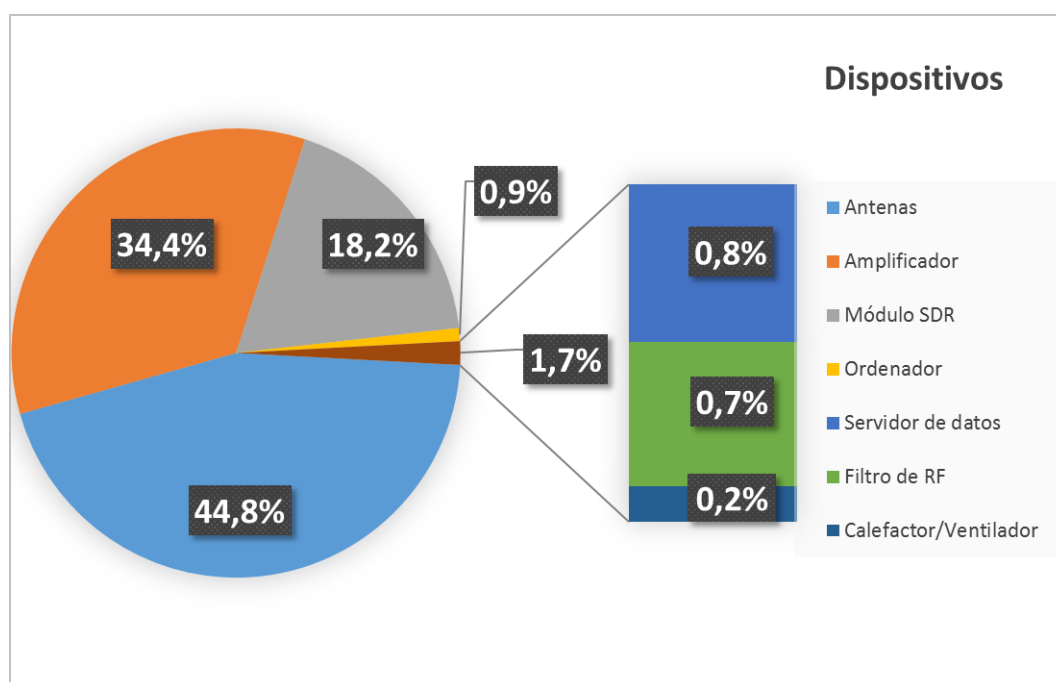


Figura 25 Coste ponderado por tipo de material.

Fuente: Tabla 7.

Anexo H: Análisis de Riesgos.

 Centro Universitario de la Defensa Zaragoza						Análisis de riesgos			Trabajo de Fin de Grado	
Título Proyecto: Implementación de un sensor pasivo definido por software en la banda de frecuencias radar										
Jefe de proyecto:		Jaime Álvarez Yuste					Fecha comienzo:		02/09/2019	
Evaluación de riesgos										
ID	Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (bajo, medio, alto)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida		
1	Menor potencia recepción que los sistemas actuales	Menor recepción de la antena por menor ganancia y por ende más ruido	M	3	3M	imposibilidad de analisis de la señal	Utilización de un amplificador para aumentar su nivel por encima del ruido	2M		
2	Menor velocidad de conversión y procesado	Conversor analógico digital con poca velocidad de conversión si hay mucha carga en el táfico	M	1	1M	mayor demora en la recepción de los resultados o incluso colapse del sistema	Disponer de un conversor A/D de última generación y así y disponer de un mayor ancho de banda	1M		
3	Obsolescencia temporal del software	Pérdida de valor del sensor si la atecnología avanza con mayor rapidez y se queda anticuado	H	2	2H	Que el sistema sea inútil para la unidad	Realizar un estudio de duración y ciclo de vida de esta tecnologí apar ver su viabilidad	2M		
4	Fallo en el equipo por condiciones atmosféricas	Si debido a la lluvia, frío o demás condiciones adveresas el sensor funciona peor que lo que debería	H	3	3H	Que el sistema falle y no se pueda hacer uso de él cuando sea necesario	Prueba del equipo en diversas situaciones e implementación de hardware que mejoren el rendimiento de los equipos	2H		
5	Error en la interoperatividad con el sistema GESTA	Que el sistema no se adapte a la base de datos o los protocolos de información	H	1	1H	Que no se pueda hacer uso del sistema porque no acepte GESTA este nuevo dspositivo	Prueba de software y programación del sistema hasta que se implemente el mismo formato	1L		
6	Menores capacidades del sensor respecto al actual	Que el sensor no reciba a tanto alcance o precese a tanta velocidad como el actual	L	3	3L	Que el sensor no detecte señales más lejanas y no se pueda hacer localización goniométrica	estudio de la disposición de las antenas para ganar alcance y ganancia.	2M		
7	Falta de formación del personal	Que el personal de la unidad no esté familiarizado con el sistema nuevo	L	1	1L	Que tarden más tiempo en poder dar uso a este sistema	Llevar a cabo un programa de instrucción y adiestramiento para los operadores	1L		
8	Incapacidad del equipo en vehículo Santana Anibal	Que se necesiten equipos con mayor peso o tamaño del esperado sea el vehículo ligero capaz de portarlos	M	2	2M	Que se neseite un vehiculo más pesado y disponer de él para montar esta estación	Optimizar la disposición de los equipos, liberar espacio del vehículo y tener en cuenta el tamaño del equipo en la adquisición	1M		

Tabla 15 Análisis de Riesgos.